

แนวทางการลดค่าไฟฟ้าด้วยการใช้เซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับอัตราตาม  
ช่วงเวลาของการใช้สำหรับบ้านอยู่อาศัยและกิจการขนาดเล็ก



วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

หลักสูตรปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาการจัดการพลังงานและสมาร์ทกริดเทคโนโลยี

พฤษภาคม 2562

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

แนวทางการลดค่าไฟฟ้าด้วยการใช้เซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับอัตราตามช่วงเวลาของการใช้  
สำหรับบ้านอยู่อาศัยและกิจการขนาดเล็ก



วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

หลักสูตรปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาการจัดการพลังงานและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี

พฤษภาคม 2562

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

APPROACH OF ELECTRICITY COST REDUCTION USING SOLAR CELL WITH TIME OF USE  
TARIFF FOR RESIDENTIAL AND SMALL GENERAL SERVICE



A Dissertation Submitted to University of Phayao  
in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Doctor of Philosophy Degree in Energy Management and Smart Grid Technology  
November 2019  
Copyright 2019 by University of Phayao

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

แนวทางการลดค่าไฟฟ้าด้วยการใช้เซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับอัตราตามช่วงเวลาของการใช้  
สำหรับบ้านอยู่อาศัยและกิจการขนาดเล็ก

ของ ทรงพล ผัดวงศ์

ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

หลักสูตรปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการพลังงานและสมรรถกฤตเทคโนโลยี

ของมหาวิทยาลัยพะเยา

..... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิพนธ์ เกตุจ้อย)

..... ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ดร. บุญวัฒน์ วิจารย์พล)

..... กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(รองศาสตราจารย์ ดร. วัฒนพงศ์ รัักษ์วิเชียร)

..... กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นพรัตน์ เกตุขาว)

..... อาจารย์บัณฑิตศึกษามหาวิทยาลัยพะเยา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วัชระ วงศ์ปัญญา)

..... ผู้ทรงคุณวุฒิ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประพิธาร์ ธนารักษ์)

..... คณบดีคณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม

(รองศาสตราจารย์ ดร. ต่อพงศ์ กวีธาชาติ)

<b>เรื่อง:</b>	แนวทางการลดค่าไฟฟ้าด้วยการใช้เซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับอัตราตามช่วงเวลาของการใช้สำหรับบ้านอยู่อาศัยและกิจการขนาดเล็ก
<b>ผู้วิจัย:</b>	ทรงพล ผัดวงศ์, วิทยานิพนธ์: ปร.ด. (การจัดการพลังงานและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี), มหาวิทยาลัยพะเยา, 2562
<b>อาจารย์ที่ปรึกษา:</b>	ดร. บุญวัฒน์ วิจารณ์พล อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รองศาสตราจารย์ ดร.วัฒน์พงศ์ รักษ์วิเชียร ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพรัตน์ เกตุขาว
<b>คำสำคัญ</b>	เซลล์แสงอาทิตย์, อัตราตามช่วงเวลาของการใช้, บ้านอยู่อาศัย, กิจการขนาดเล็ก

### บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาแนวทางการลดค่าไฟฟ้าด้วยการใช้เซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับอัตราตามช่วงเวลาของการใช้สำหรับบ้านอยู่อาศัยและกิจการขนาดเล็ก ขั้นตอนแรกของการศึกษาเป็นการจำลองผลประหยัดค่าไฟฟ้าจากการเปลี่ยนมาใช้ค่าไฟฟ้าแบบอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU) จากการนำข้อมูลโครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าปี พ.ศ. 2558 ตามประกาศของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมาจัดทำแผนภูมิผลประหยัดค่าไฟฟ้าจากการเปลี่ยนค่าไฟฟ้าจากอัตราปกติ มาเป็นอัตรา TOU พบว่าผลประหยัดค่าไฟฟ้าขึ้นกับตัวแปรด้านพฤติกรรมของการใช้ไฟฟ้าที่แตกต่างกันตามประเภทผู้ใช้ไฟฟ้า ซึ่งผู้ใช้ไฟฟ้าที่ต้องการเปลี่ยนประเภทผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของตนเอง แล้วนำมาพิจารณาในแผนภูมิ ทำให้ทราบความเป็นไปได้ถึงผลประหยัดค่าไฟฟ้า เมื่อเปลี่ยนจากค่าไฟฟ้าอัตราปกติมาเป็นค่าไฟฟ้าอัตรา TOU นอกจากนี้ยังมีข้อสังเกตที่สำคัญที่ผู้ใช้ไฟฟ้าจะสามารถเปลี่ยนมาใช้อัตรา TOU คือ ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัย อัตรา 1.1.1 และ 1.1.2 ที่แรงดัน 22-33 kV จะต้องมีสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลา On Peak ไม่เกิน 0.7 ส่วนผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัย อัตรา 1.1.1 และ 1.1.2 ที่แรงดันต่ำกว่า 22 kV และผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทกิจการขนาดเล็ก จะต้องมีสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลา On Peak ไม่เกิน 0.52 ขั้นตอนถัดมาของการศึกษาได้ทำการจำลองวิธีการเลือกขนาดพลังงานแสงอาทิตย์ (Photovoltaic: PV) ที่เหมาะสมสำหรับค่าไฟฟ้าแบบอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU) เพื่อหาขนาดต่ำสุดและสูงสุดของพลังงานแสงอาทิตย์ที่จะได้รับประโยชน์จากอัตรา TOU สำหรับบ้านอยู่อาศัยที่ใช้ปริมาณไฟฟ้ามากกว่า 150 หน่วยต่อเดือนและมีแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่า 22 kV ที่พิจารณาการติดตั้งพลังงานแสงอาทิตย์ในพื้นที่จังหวัดพะเยาและกำหนดการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ที่ใช้สำหรับช่วง On Peak ผลที่ได้จากการศึกษา คือ แผนภูมิการหาขนาดต่ำสุดและสูงสุดของพลังงานแสงอาทิตย์ ทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถเลือกขนาดพลังงานแสงอาทิตย์ที่เหมาะสมจากแผนภูมิเหล่านี้ การกำหนดขนาดต่ำสุดของพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งขึ้นอยู่กับปริมาณการใช้ไฟฟ้าก่อนติดตั้ง PV ( $kWh_{T,E}$ ) และสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วง On Peak ( $\alpha_E$ ) ซึ่งผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่ำกว่า 500 หน่วยต่อเดือนและสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วง On Peak มากกว่า 0.8 จะไม่สามารถได้รับประโยชน์จากอัตรา TOU และการกำหนดขนาดสูงสุดของพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งขึ้นอยู่กับปริมาณการใช้ไฟฟ้าก่อนติดตั้ง PV ( $kWh_{T,E}$ ) และสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วง On Peak ( $\alpha_E$ ) ถ้าหากปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อเดือนและสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วง On Peak สูงขึ้น จะทำให้ขนาดพลังงานแสงอาทิตย์สูงสุดที่สามารถติดตั้งเพื่อให้ได้รับประโยชน์จากอัตรา TOU สูงขึ้นตาม

**Title:** APPROACH OF ELECTRICITY COST REDUCTION USING SOLAR CELL WITH TIME OF USE  
TARIFF FOR RESIDENTIAL AND SMALL GENERAL SERVICE

**Author:** Songpol Pudwong, Dissertation: Ph.D. (Energy Management and Smart Grid Technology),  
University of Phayao, 2019

**Advisor:** Bunyawat Vichanpol , Ph.D. Co–advisor Wattanapong Rakwichian Assistant  
ProfessorNopparat Katkhaw , Ph.D.

**Keyword** Solar cell, Time of use tariff, Residential, Small general service

### ABSTRACT

This research aims to study the approach of electricity cost reduction using solar cell with time of use tariffs for residential and small general service. First, the study was based on electricity tariff rate (2015) of the provincial electricity authority (PEA) to simulated the electricity cost saving depends on the electrical energy consumption behavior such as total electricity consumption ( $kWh_{Total}$ ) and the ratio of electricity consumption in peak time ( $kWh_p/kWh_{Total}$ ) relying on rate type. The result shown that the electricity cost saving depends on the behavioral variables of electricity consumption which is different according to the type of customers. The customers who want to change the tariff can analyze their electricity usage behavior. Then the chart will make the possibility of saving electricity bills when changing from normal tariff to TOU tariff. The customers in 1.1.1 and 1.1.2 at voltage level 22–33 kV must have a ratio of electricity consumption in peak time not exceeding 0.7. For the customers in the rates of 1.1.1 and 1.1.2 at voltage level lower than 22 kV and those with small general service must have  $kWh_p/kWh_{Total}$  not more than 0.52. The next step of the study is sizing simulation to optimize the PV (Photovoltaic) size that will benefit from the TOU tariff. For the customer with electricity consumption 150 unit per month and a voltage level lower than 22 kV that considers installing photovoltaic in Phayao province that determine the production of solar energy used for peak time. The results of the study are the charts of minimum and maximum size of PV for customers to choose the suitable PV size. The finding the minimum size of PV to be installed depends on the electricity consumption before installation and the ratio of electricity consumption in peak time. The customers who use the total electricity consumption less than 500 units per month and the ratio of electricity consumption in peak time more than 0.8 will not benefit to the TOU tariff. The minimum and maximum PV size depend on the total electricity consumption before PV installation ( $kWh_{T,E}$ ) and the existing ratio of electricity consumption in peak time ( $\alpha_E$ ). If  $kWh_{T,E}$  and  $\alpha_E$  are increasingly high, the maximum size of the PV installation will be accordingly enlarged as well.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจาก ดร.บุญวัฒน์ วิจารย์พล ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.วัฒน์พงศ์ รัชชวีเชียร และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพรัตน์ เกตุขาว กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาเสียสละเวลาให้คำปรึกษา คำแนะนำ สำหรับการทำวิทยานิพนธ์อย่างละเอียดด้วยความเอาใจใส่และเมตตา อีกทั้งยังคอยให้กำลังใจแก่ข้าพเจ้า ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิพนธ์ เกตุจ้อย ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประพิฑารีย์ ธนารักษ์ ผู้ทรงคุณวุฒิ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัชระ วงศ์ปัญญา กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาตรวจสอบและให้คำแนะนำที่ช่วยทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์สาขาวิชาพลังงานทดแทน คณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาแก่ข้าพเจ้า รวมทั้งให้คำปรึกษาและให้กำลังใจแก่ข้าพเจ้าอยู่เสมอ

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยพะเยา ที่มอบทุนอุดหนุนการทำวิทยานิพนธ์ นิสิตระดับบัณฑิตศึกษา ให้แก่ข้าพเจ้าในครั้งนี้

ขอขอบคุณผู้สนับสนุนข้อมูลและให้ความร่วมมือในการเก็บข้อมูลเพื่อทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอบคุณเพื่อนๆ หลักสูตรการจัดการพลังงานและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี ที่สร้างบรรยากาศการเรียนที่ดีและให้กำลังใจซึ่งกันและกัน ขอขอบคุณเพื่อนร่วมงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา ที่ช่วยเหลือข้าพเจ้าระหว่างการศึกา

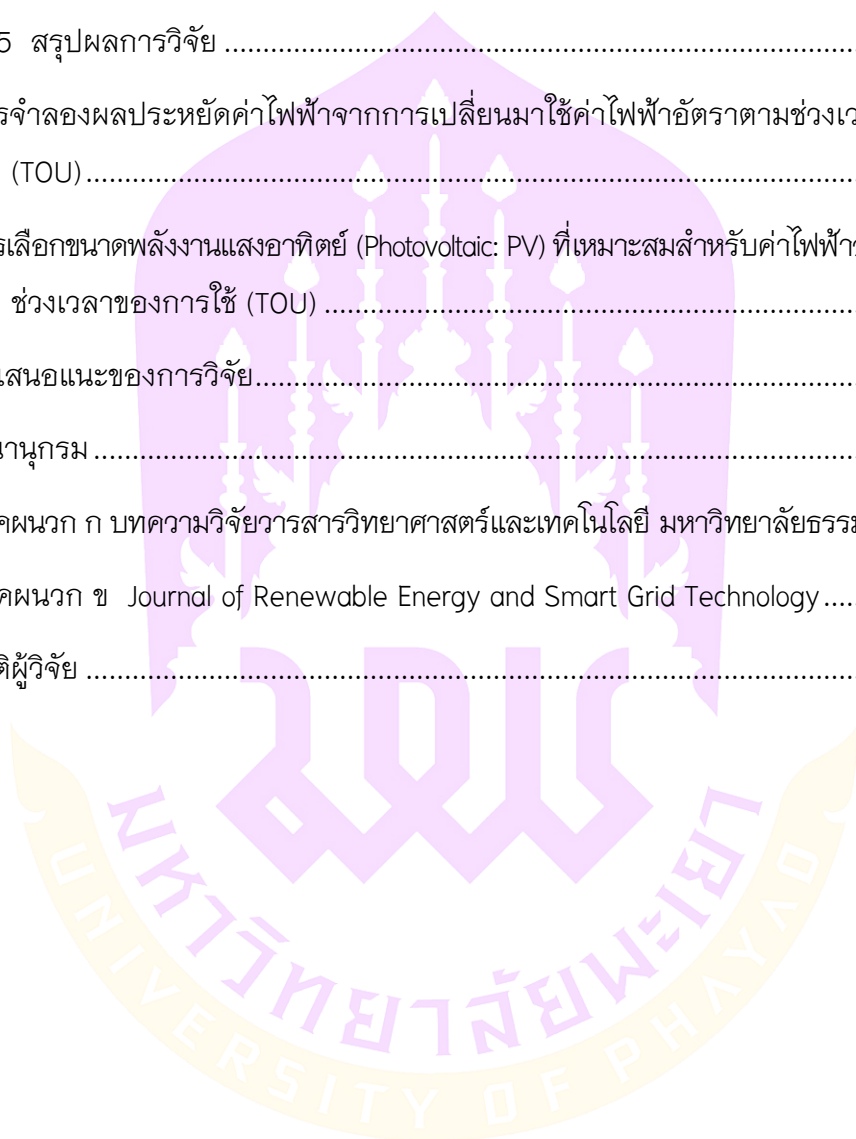
สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณอย่างยิ่งสำหรับสมาชิกในครอบครัวของข้าพเจ้าที่ให้กำลังใจตลอดเวลาทั้งการดำเนินชีวิต การทำงาน และการศึกษา และขอบคุณทุกๆ ท่านที่มีได้กล่าวมา ณ ที่นี้ด้วย

ทรงพล ผัดวงศ์

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย .....	6
ขอบเขตของการวิจัย .....	6
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
กรอบแนวคิดการวิจัย .....	7
นิยามศัพท์ .....	8
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	9
ระบบการจัดการพลังงาน.....	9
สมาร์ตกริดเทคโนโลยี.....	13
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	19
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย .....	29
เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย .....	29
ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย .....	29
บทที่ 4 ผลการวิจัย .....	32

การจำลองผลประหยัดค่าไฟฟ้าจากการเปลี่ยนมาใช้ค่าไฟฟ้าอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU).....	32
การเลือกขนาดพลังงานแสงอาทิตย์ (Photovoltaic: PV) ที่เหมาะสมสำหรับค่าไฟฟ้าอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU).....	41
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย .....	53
การจำลองผลประหยัดค่าไฟฟ้าจากการเปลี่ยนมาใช้ค่าไฟฟ้าอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU).....	53
การเลือกขนาดพลังงานแสงอาทิตย์ (Photovoltaic: PV) ที่เหมาะสมสำหรับค่าไฟฟ้าอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU) .....	53
ข้อเสนอแนะของการวิจัย.....	54
บรรณานุกรม .....	55
ภาคผนวก ก บทความวิจัยวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ .....	60
ภาคผนวก ข Journal of Renewable Energy and Smart Grid Technology .....	77
ประวัติผู้วิจัย .....	88



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 1 อัตราค่าไฟฟ้า ประเภทที่ 1 .....	17
ตาราง 2 อัตราค่าไฟฟ้าประเภทที่ 2 .....	18
ตาราง 3 เปรียบเทียบงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	28
ตาราง 4 เงื่อนไขในการเปลี่ยนกลับมาใช้อัตราปกติ.....	32
ตาราง 5 นิยามตัวแปรทางด้านพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า.....	33
ตาราง 6 สมการความสัมพันธ์ของค่าไฟฟ้าฐานกับตัวแปรทางด้านพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า .....	33
ตาราง 7 การประเมินการใช้พลังงานไฟฟ้าของแต่ละอุปกรณ์ไฟฟ้าจากบ้านอยู่อาศัยตัวอย่าง.....	39
ตาราง 8 สมการสำหรับการหาขนาดพลังงานแสงอาทิตย์ขั้นต่ำ .....	48



## สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพ 1 แสดงความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดของประเทศไทย .....	2
ภาพ 2 กรอบแนวคิดการศึกษาแนวทางลดค่าไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ .....	7
ภาพ 3 แสดงระบบการจัดการพลังงานสำหรับบ้านที่อยู่อาศัย.....	10
ภาพ 4 การจัดการพลังงานสำหรับอาคาร.....	12
ภาพ 5 การจำลองผลประหยัดค่าไฟฟ้าจากการเปลี่ยนอัตราค่าไฟฟ้า .....	30
ภาพ 6 การจำลองวิธีการเลือกขนาดพลังงานแสงอาทิตย์ (Photovoltaic: PV) ที่เหมาะสมค่า ไฟฟ้าอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU) .....	31
ภาพ 7 อัตรา 1.2.1 (22–33 kV) เทียบกับอัตรา 1.1.1 หรืออัตรา 1.1.2.....	35
ภาพ 8 อัตรา 1.2.2 (< 22 kV) เทียบกับอัตรา 1.1.1 หรืออัตรา 1.1.2.....	36
ภาพ 9 อัตรา 2.2.1 (22–33 kV) เทียบกับอัตรา 2.1.1.....	37
ภาพ 10 อัตรา 2.2.2 (< 22 kV) เทียบกับอัตรา 2.1.2.....	38
ภาพ 11 ใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัยของบ้านอยู่อาศัยตัวอย่าง .....	39
ภาพ 12 ผลประหยัดค่าไฟฟ้าของบ้านพักอาศัยตัวอย่าง .....	41
ภาพ 13 ขั้นตอนการวิเคราะห์ขนาดพลังงานแสงอาทิตย์.....	42
ภาพ 14 บ้านตัวอย่างที่ติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบไฮบริด (Hybrid) .....	44
ภาพ 15 Load Profile ของบ้านตัวอย่างเมื่อยังไม่ใช้พลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ....	44
ภาพ 16 แสดงการทำงานของแบตเตอรี่เทียบกับการใช้ไฟฟ้าของบ้านตัวอย่าง.....	45
ภาพ 17 เปรียบเทียบค่าไฟฟ้าอัตราปกติกับอัตรา TOU ของบ้านอยู่อาศัยที่ใช้ไฟฟ้า 1,000 kWh และ $\alpha_E = 0.6$ .....	47
ภาพ 18 การติดตั้งพลังงานแสงอาทิตย์ขึ้นต่ำร่วมกับการใช้อัตรา TOU .....	49
ภาพ 19 การติดตั้งพลังงานแสงอาทิตย์สูงสุดร่วมกับการใช้อัตรา TOU .....	50

ภาพ 20 ค่าไฟฟ้าอัตราปกติกับอัตรา TOU ของบ้านอยู่อาศัย.....52

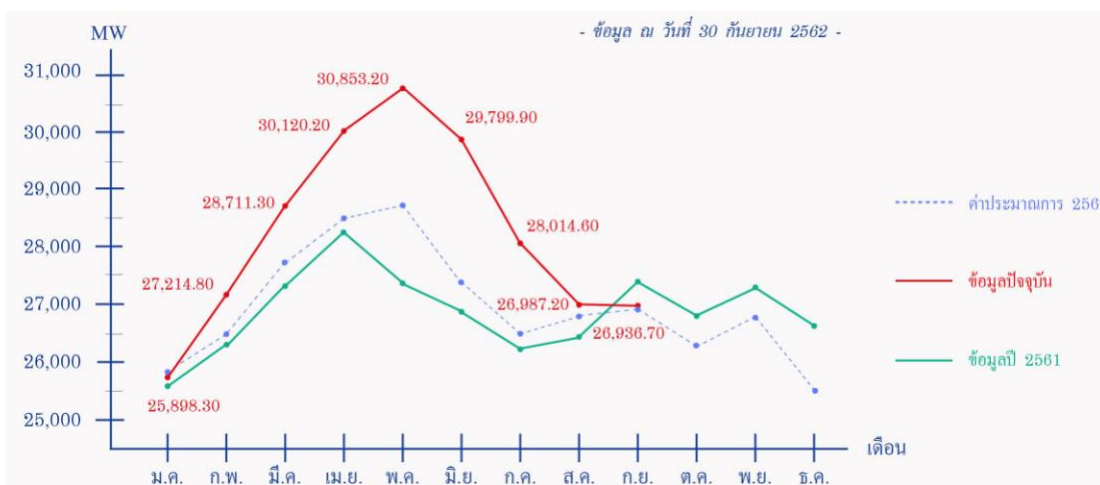


# บทที่ 1

## บทนำ

### ที่มาและความสำคัญของปัญหา

พลังงานไฟฟ้าเป็นสิ่งสำคัญต่อการดำเนินชีวิตของในยุคสมัยใหม่ที่เทคโนโลยีต่าง ๆ เข้ามามีบทบาทอย่างมาก ซึ่งสิ่งอำนวยความสะดวกหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ มักจะมีพลังงานไฟฟ้าเป็นตัวขับเคลื่อนกลไกการทำงาน นอกจากนี้พลังงานไฟฟ้ายังเป็นตัวแปรสำคัญในการเพิ่มผลผลิตทั้งเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมที่ทันสมัย การกระจายรายได้และสร้างขีดความสามารถในการแข่งขันในด้านการผลิต และการขายสินค้า ที่เป็นส่วนหนึ่งของเป้าหมายสำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจ สิ่งที่กำลังกล่าวมานี้ ทำให้มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าในทุก ๆ ระดับสูงขึ้นตาม เป็นผลให้สถานการณ์การใช้พลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยที่มีแนวโน้มสูงมากยิ่งขึ้น ก่อให้เกิดความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดของประเทศไทยมีปริมาณที่สูงขึ้นเรื่อย ๆ เกือบทุกปีนับตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ดังเช่น ในปี 2562 มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงหรือมีพิคในระบบของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ) เกิดขึ้นในเดือนพฤษภาคม ดังแสดงในภาพ 1 [1] โดยคาดว่าสาเหตุสำคัญมาจากการใช้ไฟฟ้าในภาคอุตสาหกรรม ธุรกิจ และบริการ และบ้านอยู่อาศัยเพิ่มขึ้น รวมทั้งปัจจัยด้านอุณหภูมิที่สูงขึ้นต่อเนื่อง ทำให้ทั้งในภาคที่อยู่อาศัย อาคารสำนักงาน และโรงงานอุตสาหกรรม ใช้พลังงานไฟฟ้าสูงมากขึ้นสำหรับระบบปรับอากาศ นอกจากนี้ยังมีการคาดการณ์ว่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดของระบบมีโอกาสที่จะสูงขึ้นได้อีกในอนาคต ทำให้ กฟผ. ต้องมีการเตรียมมาตรการรองรับการใช้ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นอย่างเพียงพอ ทั้งด้านการผลิต ด้านระบบส่งไฟฟ้า และด้านเชื้อเพลิง เพื่อรักษาความมั่นคงระบบไฟฟ้า ที่จะไม่ส่งผลกระทบต่อการใช้ไฟฟ้าของประชาชน



ภาพ 1 แสดงความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดของประเทศไทย

ที่มา: การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2562)

จากข้อมูลดังกล่าว ภาครัฐจึงมีนโยบายที่มุ่งเน้นเกี่ยวกับการพัฒนาระบบการจัดการพลังงานของประเทศเพื่อใช้เป็นแนวทางการปฏิบัติที่สามารถส่งเสริมเรื่องความมั่นคงด้านพลังงานของประเทศ เช่น แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2558 – 2579 (Thailand Power Development Plan: PDP 2015) [2] มุ่งเน้นถึงความมั่นคงของระบบไฟฟ้าของประเทศ รวมถึงการคำนึงเรื่องต้นทุนค่าไฟฟ้าให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม และผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม โดยส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน และการประหยัดพลังงานเพื่อช่วยลดภาวะโลกร้อน และให้เกิดการพัฒนาอย่างยั่งยืน แผนแม่บทการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของประเทศไทย พ.ศ. 2558 – 2579 [3] ของกระทรวงพลังงานที่กำหนดกรอบการดำเนินการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในภาพรวม ให้มีการส่งเสริมให้เกิดการจัดหาไฟฟ้าได้อย่างเพียงพอ มีประสิทธิภาพ ยั่งยืน มีคุณภาพบริการที่ดี และเกิดประโยชน์สูงสุดต่อประเทศ ซึ่งประกอบด้วย 3 ภาคส่วนหลัก คือ ภาครัฐ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตและส่ง และการไฟฟ้าจำหน่าย โดยกิจกรรมต่าง ๆ ที่อยู่ภายใต้แผนแม่บทสามารถจัดหมวดหมู่ตามวัตถุประสงค์ของการพัฒนาระบบสมาร์ทกริดได้เป็น 3 กลุ่ม คือ การพัฒนาโดยเน้นการยกระดับความสามารถของระบบไฟฟ้า (Smart System) การพัฒนาโดยเน้นการยกระดับคุณภาพบริการที่มีต่อผู้ใช้ไฟฟ้า (Smart Life) และการพัฒนาโดยเน้นการยกระดับโครงสร้าง

ระบบไฟฟ้าที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Green Society) แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558 – 2579 (Alternative Energy Development Plan: AEDP 2015) [4] ที่ต้องการให้ประเทศไทยสามารถพัฒนาพลังงานทดแทนให้เป็นพลังงานหลักของประเทศทดแทนเสริมสร้างความมั่นคงด้านพลังงานของประเทศ สนับสนุนอุตสาหกรรมการผลิตเทคโนโลยีพลังงานทดแทนในประเทศ และเพื่อวิจัยพัฒนาส่งเสริมเทคโนโลยีพลังงานทดแทนสัญชาติไทยให้สามารถแข่งขันในตลาดสากลได้ แผนปฏิบัติการอนุรักษ์พลังงาน 5 ปี (พ.ศ. 2560–2564) ตามกรอบแผนอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2558 – 2579 (Energy Efficiency Plan ; EEP 2015) [5] ที่มีการกำหนดแผนปฏิบัติการอนุรักษ์พลังงานหลายด้าน เช่น มีมาตรการช่วยเหลือหรืออุดหนุนการดำเนินงานเกี่ยวกับการอนุรักษ์พลังงาน มาตรการวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมอนุรักษ์พลังงาน เป็นต้น โดยมุ่งเน้นกลุ่มที่มีศักยภาพในการดำเนินการอนุรักษ์พลังงานสูง ให้เกิดผลการอนุรักษ์พลังงานที่มีนัยสำคัญ ได้แก่ ภาคอุตสาหกรรม ทั้งที่เป็นโรงงานอุตสาหกรรมในชายและนอกชายควบคุม ภาคอาคารธุรกิจ รวมถึงอาคารก่อสร้างใหม่หรืออาคารปรับปรุง ภาครัฐ และภาคที่อยู่อาศัย ในปัจจุบันการใช้บริการด้านพลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้ประเภทต่าง ๆ จะมีการคิดค่าบริการค่าไฟฟ้า 3 อัตรา คือ 1. อัตราปกติ เป็นการค่าไฟฟ้าแบบก้าวหน้าตามปริมาณการใช้ไฟฟ้าในรอบเดือนนั้น ๆ ซึ่งจะคิดค่าไฟฟ้าเพียงแต่ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วย 2. อัตราตามช่วงเวลาของวัน (Time of Day Rate ; TOD) สำหรับกิจการขนาดใหญ่ที่คิดค่าไฟฟ้าจากค่าบริการ ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วย และค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่แบ่งตามเวลาที่กำหนดไว้ในแต่ละวัน คือ ช่วง On Peak ในเวลา 18.30 – 21.30 น. ช่วง Off Peak ในเวลา 21.30 – 08.00 น. และช่วง Partial Peak ในเวลา 08.00 – 18.30 น. ที่จะคิดค่าความต้องการพลังไฟฟ้า เฉพาะส่วนที่เกิน Peak และ 3. อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate : TOU) ที่เป็นอัตราค่าไฟฟ้าที่สะท้อนถึงต้นทุนที่แท้จริง มีการคิดค่าไฟฟ้าเหมือนอัตรา TOD แต่ต่างกันที่จะแบ่งช่วงเวลา 2 ช่วง คือ ช่วงที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้ามาก (On Peak) และช่วงที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าน้อย (Off Peak) ซึ่งค่าไฟฟ้าอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Tariff : TOU) เป็นนโยบายที่สำคัญอีกเรื่องที่ภาครัฐนำมาใช้เพื่อลดความต้องการไฟฟ้าสูงสุดและช่วยประหยัดพลังงาน เช่นเดียวกับประเทศที่พัฒนาแล้วได้นำมาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นประเด็นที่คณะกรรมการการปฏิรูปพลังงานของสมาชิกสภาปฏิรูปแห่งชาติ (สปช.) นำมาพิจารณาอย่างจริงจัง และพยายามผลักดันให้หน่วยงานการไฟฟ้าที่รับผิดชอบเรื่องนี้โดยตรง คือ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.)

และการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) ทำการประชาสัมพันธ์ให้แก่ประชาชนอย่างทั่วไประยะเวลาหนึ่งปี เพื่อทำการอธิบายให้เกิดความเข้าใจกับค่าไฟฟ้าอัตรา TOU มากขึ้น รวมทั้งการอำนวยความสะดวกให้ประชาชนในดำเนินการติดตั้งมิเตอร์ไฟฟ้าแบบ TOU ได้ง่ายและได้เข้าถึงอุปกรณ์ที่ราคาไม่สูงมาก โดยที่ TOU Meter มีราคาประมาณ 18,000 บาท โดยค่าไฟฟ้าอัตรา TOU เป็นอัตราค่าไฟฟ้าที่แตกต่างกันตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate) จะคิดเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงที่ระบบมีความต้องการใช้ไฟฟ้ามาก (On Peak) จะมีราคาสูงกว่าอัตราปกติ เนื่องจากการไฟฟ้าต้องใช้ทรัพยากรการผลิตไฟฟ้าเพื่อตอบสนองความต้องการที่มีสูงมาก ส่วนช่วงที่ระบบมีความต้องการใช้ไฟฟ้าน้อย (Off Peak) จะมีค่าไฟฟ้าถูกลงเนื่องจากการไฟฟ้าจะมีต้นทุนการรับซื้อไฟฟ้าจากฝ่ายผลิตต่ำ

อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Tariff : TOU) ได้เริ่มนำมาใช้ตั้งแต่ปี 2540 โดยกำหนดให้เป็นอัตราเลือกสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้ายาวเดิม และเป็นอัตราบังคับสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้ายาวใหม่ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าตั้งแต่ 355,000 หน่วยต่อเดือนขึ้นไป หรือใช้พลังงานไฟฟ้าเกินกว่า 2,000 กิโลวัตต์ขึ้นไป จากนั้นปี 2545 รัฐได้เปิดโอกาสให้ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัยและกิจการขนาดเล็กสามารถเลือกใช้อัตรา TOU ได้ ซึ่งมาตรการค่าไฟฟ้าอัตรา TOU จะช่วยลดความต้องการไฟฟ้าสูงสุดของประเทศ และสามารถชะลอการก่อสร้างโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติหรือถ่านหินสำหรับเป็นเชื้อเพลิงออกไปได้ และเมื่อพิจารณาผลการศึกษาของสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) [6] ระบุว่า เมื่อนำค่าไฟฟ้าอัตรา TOU มาใช้ในบ้านที่อยู่อาศัยและกิจการขนาดเล็กที่มีการใช้ไฟฟ้าตั้งแต่ 800 หน่วยต่อเดือนขึ้นไป และมีการใช้ไฟฟ้าในช่วง Off Peak มากกว่า On Peak ในสัดส่วนร้อยละ 60 ต่อ 40 หรือมีการใช้ไฟฟ้าตลอด 24 ชั่วโมงอย่างสม่ำเสมอและเป็นประจำทุกวัน ในกลุ่มผู้ใช้บริการของการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) จะสามารถประหยัดค่าไฟฟ้าได้โดยเฉลี่ยถึงเดือนละ 300 - 1,700 บาท ตามอัตราโครงสร้างค่าไฟฟ้าของ กฟน. ในขณะนั้น จึงถือว่ามาตรการดังกล่าวเป็นแนวทางที่ช่วยลดค่าไฟฟ้า และสนับสนุนการลดความต้องการสูงสุดของประเทศได้จริง ในขณะที่รายงานของการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) [6] พบว่าช่วงปี 2553 - 2557 มีจำนวนผู้ใช้ค่าไฟฟ้าอัตรา TOU ประเภทบ้านที่อยู่อาศัยในเขต กฟน. นั้นลดลงทุก ๆ ปี และข้อมูลของ กฟน. และ กฟน. ที่รายงานต่อคณะกรรมการการปฏิรูปพลังงานของ สปช. เมื่อปี 2557 ระบุว่า การใช้อัตราค่าไฟฟ้า TOU โดยเฉพาะประเภทครัวเรือนทั่วไปนั้น ผู้ใช้ไฟฟ้าไม่สามารถปรับเปลี่ยนพฤติกรรม

การใช้ไฟฟ้าเพื่อสนองตอบวัตถุประสงค์ของอัตราค่าไฟฟ้า TOU ได้มากนัก ซึ่งไม่สอดคล้องกับผลการศึกษาของ สทพ. ที่ระบุว่าครัวเรือนสามารถประหยัดไฟฟ้าได้จริง

จากผลการศึกษาของ สทพ. ที่ไม่สอดคล้องกับรายงานของ กฟน.และ กฟภ. อาจมีสาเหตุมาจากการขาดความรู้ความเข้าใจของประชาชนเกี่ยวกับโครงสร้างของค่าไฟฟ้าและแนวทางการปรับพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าให้สอดคล้องกับค่าไฟฟ้าอัตรา TOU รวมทั้งขาดเครื่องมือที่จะมาช่วยวิเคราะห์ข้อมูล ที่ปัจจุบันนี้ ครัวเรือนหรือกิจการต่าง ๆ ยังคงใช้มิเตอร์แบบธรรมดาที่มีลักษณะเป็นจานหมุน ซึ่งไม่สามารถทำการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าในแยกตามช่วงเวลาได้ จึงส่งผลให้มีจำนวนผู้ใช้ค่าไฟฟ้าอัตรา TOU ลดลง นอกจากนี้ การศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของนักวิจัยด้านพลังงาน [7] ที่ศึกษาเรื่องค่าไฟฟ้าอัตรา TOU ของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 3 กิจการขนาดกลางจากกลุ่มกิจการขนาดกลางในเขตภาคเหนือจำนวน 36 แห่ง พบว่า ผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในช่วงความต้องการไฟฟ้าสูงหรือช่วง On Peak ต่ำกว่า 0.4 หรือมีค่าตัวประกอบการใช้ไฟฟ้าต่ำกว่า 0.09 จะมีค่าไฟฟ้าฐานของอัตรา TOU ถูกกว่าของอัตราปกติเสมอ และหากสามารถลดสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในช่วงความต้องการไฟฟ้าสูงได้ 20% จะลดค่าไฟฟ้าฐานต่อหน่วยได้สูงสุดประมาณ 25 สตางค์

จากข้อมูลดังกล่าวเห็นว่า ค่าไฟฟ้าอัตรา TOU จะสามารถช่วยลดความต้องการไฟฟ้าสูงสุดของประเทศ และลดค่าใช้จ่ายของประชาชนได้ แต่ข้อมูลทางด้านพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าและศักยภาพที่จะลดค่าไฟฟ้าโดยการเปลี่ยนใช้ค่าไฟฟ้าอัตรา TOU ยังไม่ชัดเจน ซึ่ง สทพ. เองก็ทำการศึกษาเฉพาะในเขตนครหลวง และข้อมูลเป็นอัตราตามค่าไฟฟ้าเก่า ทำให้ผู้วิจัยต้องการศึกษาศักยภาพที่จะเปลี่ยนเป็นค่าไฟฟ้าอัตรา TOU ในเขตการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค กลุ่มบ้านอยู่อาศัยและกิจการขนาดเล็ก ให้สอดคล้องกับโครงสร้างค่าไฟใหม่ ร่วมกับการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ที่เป็นประโยชน์ต่อแนวทางการใช้ไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น รวมทั้งให้ข้อมูลแก่ผู้ใช้ไฟฟ้าให้มีการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสม เพื่อเป็นแนวทางการลดค่าไฟฟ้าด้วยอัตรา TOU สำหรับบ้านอยู่อาศัยและกิจการขนาดเล็ก โดยประโยชน์ของการศึกษานี้ จะช่วยให้ทราบแนวทางการเลือกใช้ค่าไฟฟ้าอัตรา TOU ได้อย่างเหมาะสม นำไปสู่การปรับพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าและพัฒนาระบบการจัดการพลังงานเพื่อลดค่าไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นในอนาคต รวมทั้งเป็นการสนับสนุนนโยบายของภาครัฐเรื่องการลดความต้องการไฟฟ้าสูงสุดของประเทศได้

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลประหยัดจากการเปลี่ยนมาใช้อัตราตามช่วงเวลาของการใช้สำหรับบ้านอยู่อาศัยและกิจการขนาดเล็ก
2. เพื่อวิเคราะห์ผลประหยัดที่ได้จากระบบการจัดการพลังงานด้วยการใช้เซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับอัตราตามช่วงเวลาของการใช้สำหรับบ้านอยู่อาศัยและกิจการขนาดเล็ก

### ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตด้านเนื้อหา

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลประหยัดที่ได้จากการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับอัตราตามช่วงเวลาของการใช้สำหรับบ้านอยู่อาศัยและกิจการขนาดเล็ก โดยมีขอบเขตของการศึกษาดังนี้

1. ศึกษาค่าไฟฟ้าฐานโดยอ้างอิงจากอัตราค่าไฟฟ้า ตามประกาศการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เรื่องโครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้า ปี 2558
2. ผลประหยัดจะเปรียบเทียบจากค่าไฟฟ้าฐานที่ทำการศึกษาในอัตราปกติและอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ สำหรับกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย และประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็ก
3. ปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณาผลประหยัดจากค่าไฟฟ้าฐาน ประกอบด้วย ปริมาณการใช้ไฟฟ้าทั้งหมด ( $kWh_{Total}$ ) และการใช้ไฟฟ้าในช่วงความต้องการไฟฟ้าสูง ( $kWh_{Peak}/kWh_{Total}$ )
4. การจำลองขนาดของระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบไฮบริด (Hybrid) เพื่อช่วยลดค่าไฟฟ้าจากสายส่งหลัก ในกรณีที่มิระบบกักเก็บพลังงานเพียงพอต่อการใช้พลังงานบางส่วนหรือทั้งหมดในช่วงความต้องการไฟฟ้าสูง

ขอบเขตด้านสถานที่

กลุ่มผู้ใช้บริการของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคประเภทที่ 1 และ 2 ในจังหวัดพะเยา

ขอบเขตด้านระยะเวลา

การวิจัยดำเนินการในช่วงเดือนตุลาคม 2560 ถึง พฤษภาคม 2562

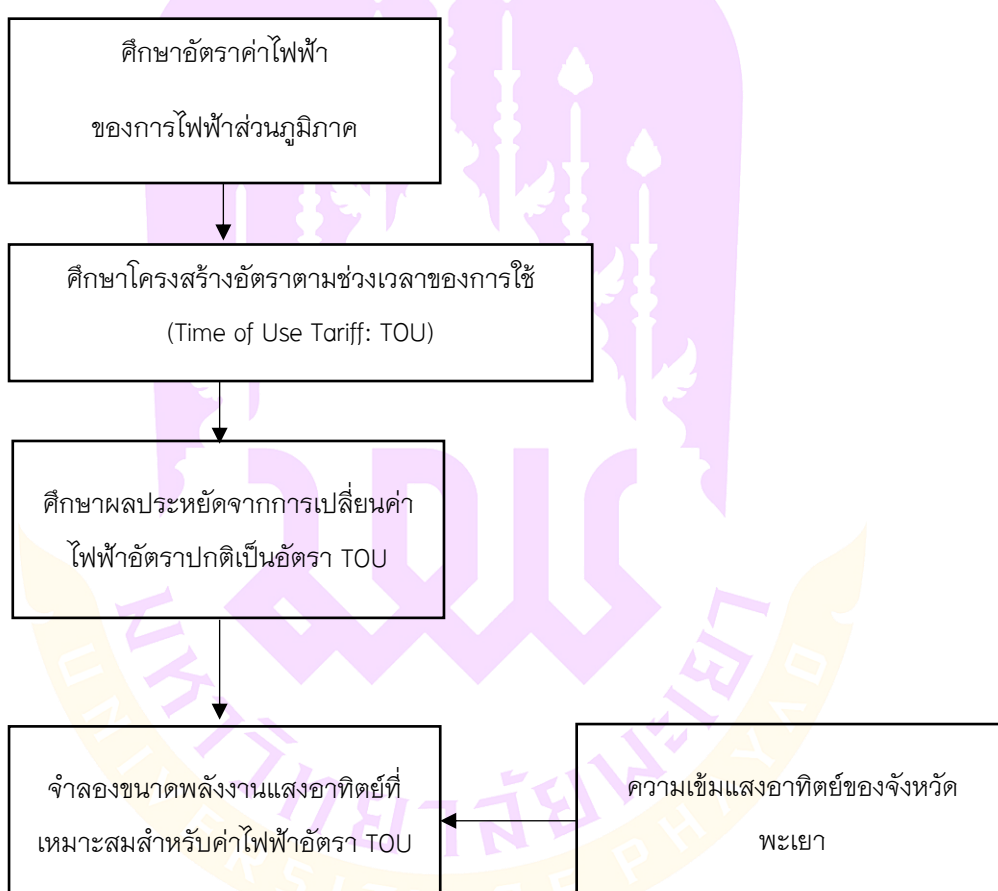
### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถประเมินผลประหยัดจากการเปลี่ยนมาใช้อัตราตามช่วงเวลาของการใช้สำหรับบ้านอยู่อาศัยและกิจการขนาดเล็กได้

2. สามารถวิเคราะห์ผลประหยัคที่ได้จากระบบการจัดการพลังงานด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับอัตราตามช่วงเวลาของการใช้สำหรับบ้านอยู่อาศัยและกิจการขนาดเล็ก

### กรอบแนวคิดการวิจัย

การวิจัยเรื่องแนวทางการลดค่าไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับอัตราตามช่วงเวลาของการใช้สำหรับบ้านอยู่อาศัยและกิจการขนาดเล็ก สามารถอธิบายกรอบแนวคิดของการทำวิจัยดังภาพ 2



ภาพ 2 กรอบแนวคิดการศึกษาแนวทางลดค่าไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์  
ร่วมกับการใช้ค่าไฟฟ้าอัตรา TOU

## นิยามศัพท์

1. เซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic: PV) คือ กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากการตกกระทบของแสงบนวัตถุที่มีความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ โดยตรงวัสดุที่มีความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานดังกล่าวคือสารกึ่งตัวนำเมื่อนำ มาผลิตเป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้า

2. อัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Tariffs: TOU) คือ อัตราค่าไฟฟ้าที่ใช้เกณฑ์ของช่วงเวลาในการกำหนดราคา โดยจะมีค่าไฟฟ้าในอัตราสูงในช่วงที่มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูง และมีค่าไฟฟ้าในอัตราต่ำในช่วงที่มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าต่ำ

3. ช่วงความต้องการไฟฟ้าสูง (On Peak) คือ ช่วงเวลาตั้งแต่ 9.00 น. ถึง เวลา 22.00 น. ของวันจันทร์ถึงวันศุกร์

4. ช่วงความต้องการไฟฟ้าต่ำ (Off Peak) คือ ช่วงเวลาตั้งแต่ 22.00 น. ถึง เวลา 9.00 น. ของวันจันทร์ถึงวันศุกร์ รวมทั้งตลอดทั้งวันในวันเสาร์ วันอาทิตย์ และวันหยุดนักขัตฤกษ์ที่หน่วยงานที่ดูแลด้านการไฟฟ้ากำหนดขึ้นในแต่ละปี

5. สัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในช่วงความต้องการไฟฟ้าสูง หรือช่วง On Peak คือ สัดส่วนของปริมาณการใช้ไฟฟ้าในช่วงความต้องการไฟฟ้าสูงต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้าทั้งหมดของบ้านอยู่อาศัยหรือกิจการขนาดเล็กที่นำมาพิจารณาในรอบเดือนนั้น ๆ

6. ค่าไฟฟ้าฐาน คือ ค่าไฟฟ้าที่ผู้ใช้ไฟฟ้าต้องชำระให้การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคที่ขึ้นอยู่กับปริมาณการใช้ไฟฟ้าของแต่ละอัตราที่ผู้ใช้ไฟฟ้าเลือก โดยมีได้รวมค่าบริการ ภาษีมูลค่าเพิ่มและค่าไฟฟ้าผันแปร (Float Time, Ft)

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### ระบบการจัดการพลังงาน

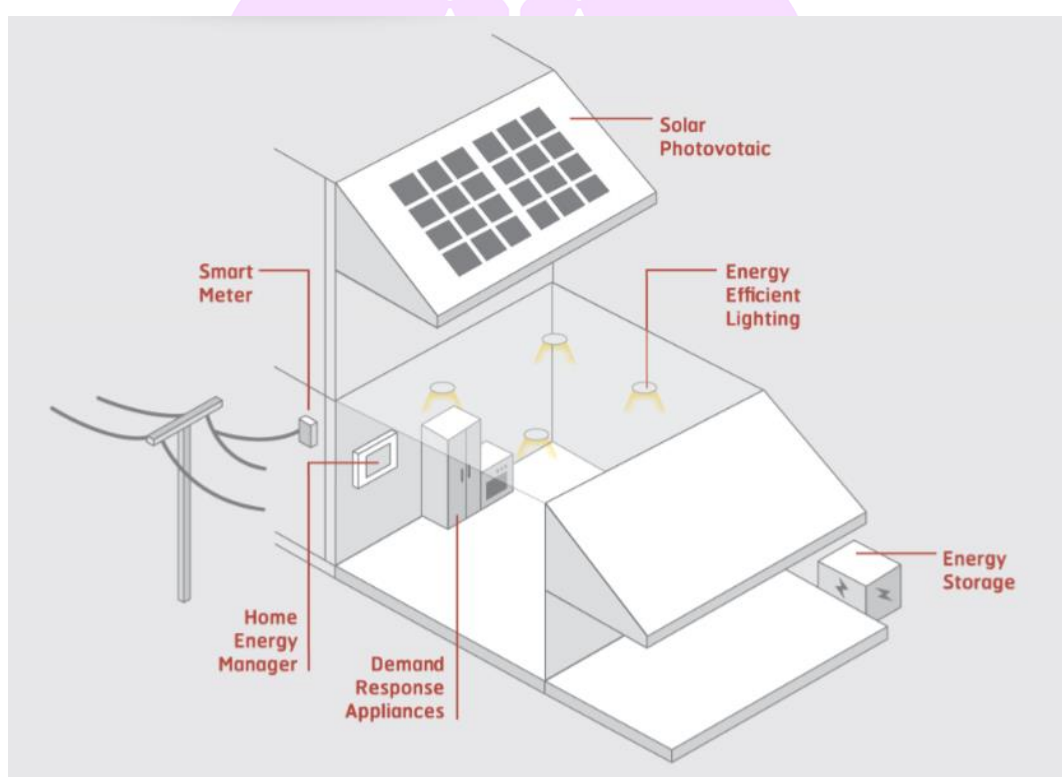
ระบบจัดการพลังงาน (Energy Management System: EMS) [8] หมายถึง ระบบอัตโนมัติที่นำเข้ามาใช้ในการควบคุมให้การผลิต การส่งพลังงาน รวมถึงการใช้พลังงานมีประสิทธิภาพสูงสุด ระบบจัดการพลังงานนั้นค่อนข้างกว้างโดยไม่ได้หมายถึงเฉพาะเพียงพลังงานไฟฟ้าเท่านั้นแต่ยังครอบคลุมถึงพลังงานในรูปแบบอื่น ๆ ด้วย เช่น พลังงานความร้อน เป็นต้น ระบบจัดการพลังงานจะอาศัยการทำงานประสานกันระหว่าง อุปกรณ์ตรวจวัด (Sensor) สมาร์ทมิเตอร์ (Smart Meter) และระบบควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าอัตโนมัติ (Actuator หรือ Controller) บนโครงสร้างของระบบเทคโนโลยีและสารสนเทศ (Information Technology: IT) โดยอาจมีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน (เช่น พลังงานแสงอาทิตย์) และระบบกักเก็บพลังงานร่วมด้วย เพื่อให้จัดการการใช้ไฟฟ้าเกิดประโยชน์สูงสุด ระบบจัดการพลังงานที่มีประสิทธิภาพจะมีกระบวนการวางแผนให้เกิดการผลิต การใช้พลังงานและการจัดการพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งในบางกรณีอาจจะรวมถึงการลดการใช้พลังงานให้เหลือน้อยที่สุด ทั้งนี้ จะต้องไม่ทำให้ความสามารถในการทำงานหรือผลิตภาพลดลง รวมถึงต้องไม่ก่อให้เกิดผลเสียทางสุขภาพใด ๆ กับผู้ที่อาศัยหรือทำงานอยู่ในพื้นที่นั้น

#### 1. การจัดการพลังงานสำหรับบ้าน

การจัดการพลังงานในบ้าน (Home Energy Management System: HEMS) [8] เป็นระบบที่เชื่อมโยงอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านเข้าด้วยกัน โดยสามารถแสดงสถานการณ์ใช้ไฟฟ้า เช่น ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าหรือบริเวณต่าง ๆ ในบ้านในช่วงเวลานั้น เป็นต้น นอกจากนี้ HEMS ที่มีความสามารถในระดับที่สูงขึ้นจะสามารถนำข้อมูลอื่นที่เกี่ยวข้อง เช่น สภาพอากาศ ราคาค่าไฟฟ้าในช่วงนั้น ๆ เป็นต้น มาประมวลผล พร้อมทั้งเสนอแนะต่อผู้ใช้ไฟฟ้าถึงวิธีการใช้พลังงาน หรือควบคุมการใช้พลังงานอย่างอัตโนมัติให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

นอกจากนี้ หากมีการติดตั้งอุปกรณ์ด้านพลังงานใหม่ๆ เพิ่มเติมในบ้านอยู่อาศัย เช่น ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา ระบบกักเก็บพลังงาน หรือ อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีความสามารถในการดำเนินการตอบสนองด้านโหลด เป็นต้น HEMS จะ

สามารถเชื่อมโยงอุปกรณ์ต่าง ๆ เหล่านั้นเข้าด้วยกัน เพื่อให้การบริหารการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ มีประสิทธิภาพสูงสุด ตัวอย่างเช่น ในช่วงเวลาเที่ยงวันเมื่อระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาผลิตไฟฟ้าได้มากกว่าการใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน ณ ขณะนั้น HEMS สามารถสั่งให้แบตเตอรี่ชาร์จไฟเพื่อเก็บพลังงานไฟฟ้าส่วนเกินไว้ ในอนาคตหากมีการนำกลไกค่าไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามเวลามาใช้งาน HEMS เมื่อทราบว่าช่วงเวลานั้นมีราคาค่าไฟฟ้าสูงสามารถสั่งให้แบตเตอรี่จ่ายไฟฟ้ากลับเข้าสู่ระบบไฟฟ้าในบ้าน เพื่อลดการพึ่งพาไฟฟ้าจากระบบโครงข่ายหลักซึ่งมีราคาสูง ทำให้เกิดการประหยัดค่าไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ



ภาพ 3 แสดงระบบการจัดการพลังงานสำหรับบ้านที่อยู่อาศัย

ที่มา: สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) [8]

ระบบการจัดการพลังงานในบ้านที่อยู่อาศัย ในภาพ 3 แสดงถึงองค์ประกอบของระบบที่มีทั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่อยู่ในบ้านที่อยู่อาศัย เช่น ระบบแสงสว่างที่มีประสิทธิภาพ อุปกรณ์ควบคุมการทำงานที่เป็นสมาร์ทมิเตอร์ (Smart Meter) ระบบพลังงานทดแทนที่เป็น

พลังงานแสงอาทิตย์ ระบบเก็บกักพลังงาน ที่ต้องมีการเชื่อมโยงการทำงานเข้ากับ โปรแกรมควบคุมการทำงานที่เป็นระบบการจัดการพลังงานสำหรับบ้านที่อยู่อาศัย (Home Energy Management) รวมทั้งระบบควบคุมเกี่ยวกับการตอบสนองของด้านโหลดหรือความต้องการทางไฟฟ้าระหว่างผู้ผลิตหรือจำหน่ายกับผู้ใช้ไฟฟ้า (Demand Response: DR)

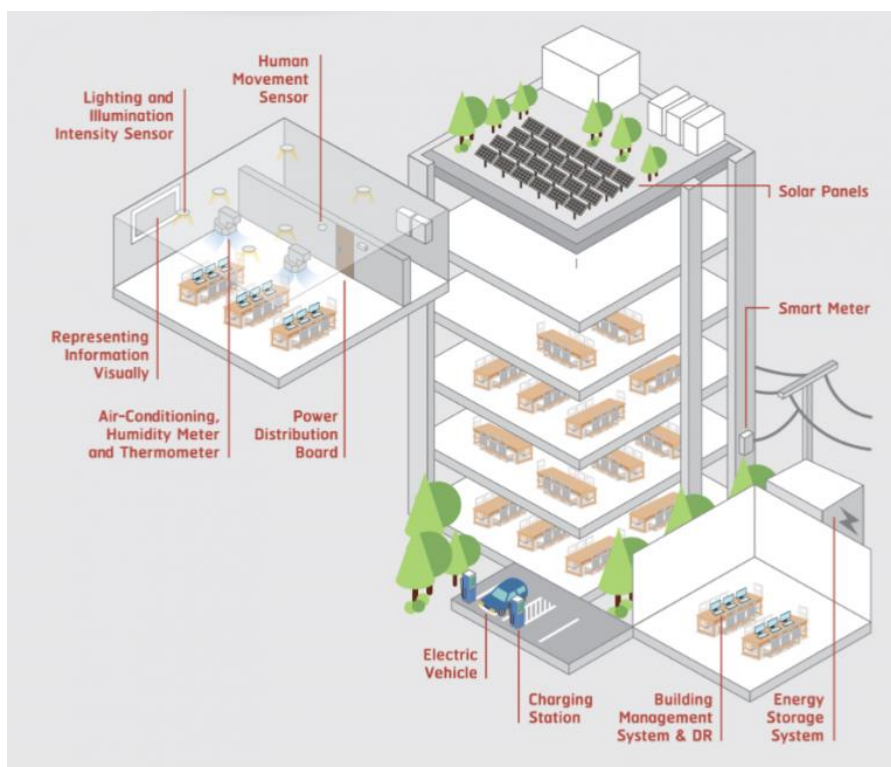
นอกจากนั้น HEMS ยังสามารถทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าได้ โดยตรงจากนอกบ้าน รวมถึงสามารถควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าวางหน้าผ่านทางโทรศัพท์เคลื่อนที่ ได้ หากไม่มี HEMS ผู้ใช้ไฟฟ้าต้องควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ แยกกัน เช่น การเปิด-ปิดไฟที่ สวิตช์แต่ละจุดในบ้านโดยตรง เป็นต้น เมื่อมีการติดตั้ง HEMS ในบ้าน ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถ ควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ผ่านทางอุปกรณ์เคลื่อนที่ เช่น สมาร์ทโฟน หรือแท็บเล็ต เป็นต้น นอกจากนี้ อุปกรณ์อัตโนมัติบางส่วนสามารถติดตั้งเพิ่มเติมเข้าไปเพื่อให้ทำงานร่วมกับ HEMS ได้ เช่น เซ็นเซอร์รับการเคลื่อนไหว เพื่อปิดไฟส่องสว่างในบริเวณบ้านที่ไม่มีคนอยู่ เป็นต้น การ มีข้อมูลการใช้ไฟฟ้าในส่วนต่าง ๆ โดยละเอียด และสามารถควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้ จะเป็น ปัจจัยสำคัญที่ทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าปรับเปลี่ยนพฤติกรรมตนเองลงโดยลดการใช้ไฟฟ้าในส่วนที่ไม่ จำเป็นลง ส่งผลให้การใช้ไฟฟ้าในบ้านเรือนลดลง รวมถึงลดค่าไฟฟ้าลงได้ โดยทั่วไปแล้ว HEMS จะประกอบไปด้วย สมาร์ทมิเตอร์ ระบบกักเก็บพลังงาน รวมถึงระบบควบคุมและ สั่งการ HEMS

## 2. ระบบการจัดการพลังงานสำหรับอาคาร

ระบบการจัดการพลังงานในอาคาร (Building Energy Management System: BEMS) [8] เป็นระบบที่ช่วยในการจัดการ ควบคุม และติดตามระบบพลังงานต่าง ๆ ภายใน อาคาร เช่น ระบบปรับอากาศ ระบบไฟส่องสว่าง เป็นต้น โดยจะรวบรวมข้อมูลที่ตรวจวัดใน ส่วนต่าง ๆ ประมวลผล และส่งข้อมูลที่จำเป็นให้ผู้ควบคุมระบบของอาคารเข้าใจถึงการ ลักษณะการใช้พลังงานในอาคาร นำไปทำการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานภายใน อาคารได้ เนื่องจากอาคารประกอบด้วยระบบต่าง ๆ เพิ่มเติมขึ้นมาจากบ้านเรือนทั่วไป ระบบ BEMS จึงมีความซับซ้อนมากกว่า HEMS

โดยทั่วไปแล้ว อาคารในประเทศไทยนั้นจะใช้พลังงานไฟฟ้าส่วนมากไปกับระบบ ปรับอากาศ BEMS จึงมักจะประกอบด้วยส่วนหลัก ๆ ดังต่อไปนี้ การควบคุมระบบปรับอากาศ ระบบทำความร้อนและระบายอากาศ (Heating, Ventilation, and Air Conditioning ; HVAC) ระบบควบคุมแสงสว่างในอาคาร การรวบรวมข้อมูลจากสมาร์ทมิเตอร์ การควบคุมการทำงานของ อุปกรณ์กักเก็บพลังงานในอาคาร เป็นต้น นอกจากนี้ ในอนาคตอาจจำเป็นต้องมีการติดตั้ง สถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าไว้ในอาคาร เพื่อรองรับการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าของผู้ที่อาศัยหรือ

ทำงานอยู่ภายในอาคาร ดังนั้น BEMS บางระบบจึงต้องสามารถควบคุมการทำงานของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าได้ด้วย



ภาพ 4 การจัดการพลังงานสำหรับอาคาร

ที่มา: สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) [8]

การจัดการพลังงานสำหรับอาคาร ที่แสดงในภาพ 4 เหมาะสำหรับอาคารพาณิชย์ขนาดใหญ่ เช่น ห้างสรรพสินค้า หรือสำนักงานใหญ่ เป็นต้น ที่มีศักยภาพในการดำเนินการตอบสนองด้านโหลด BEMS เป็นระบบที่สามารถนำมาใช้เพื่อรองรับการตอบสนองด้านโหลดแบบอัตโนมัติได้

## สมาร์ตกริดเทคโนโลยี

### 1. นิยามของ สมาร์ตกริดเทคโนโลยี (Smart Grid Technology)

สมาร์ตกริดเทคโนโลยี [9] คือ การพัฒนาให้ระบบไฟฟ้าสามารถตอบสนองต่อการทำงานได้อย่างชาญฉลาดมากขึ้น หรือมีความสามารถมากขึ้นโดยใช้ทรัพยากรที่น้อยลง (Doing More with Less) มีประสิทธิภาพ มีความน่าเชื่อถือ มีความปลอดภัย มีความยั่งยืน และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งสามารถทำให้เกิดขึ้นได้โดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีระบบสื่อสารสารสนเทศ (ICT) ระบบเซ็นเซอร์ ระบบเก็บข้อมูล และเทคโนโลยีทางการควบคุมอัตโนมัติ เพื่อให้ระบบไฟฟ้ากำลังสามารถรับรู้ข้อมูลสถานะต่าง ๆ ในระบบมากขึ้นเพื่อใช้ในการตัดสินใจอย่างอัตโนมัติ ทั้งนี้ กระบวนการเหล่านี้จะต้องเกิดขึ้นทั่วทั้งระบบไฟฟ้าครอบคลุมระบบผลิต ระบบส่ง ระบบจำหน่าย และระบบผู้ใช้ไฟฟ้า

นอกจากนี้ สมาร์ตกริดเทคโนโลยียังมิได้หมายถึงเทคโนโลยีใดเทคโนโลยีหนึ่งโดยเฉพาะ แต่ประกอบด้วยเทคโนโลยีหลากหลายประเภทซึ่งทำงานร่วมกัน ตั้งแต่การประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยีเหล่านั้น ตลอดทั้งห่วงโซ่ของระบบไฟฟ้า ตั้งแต่การผลิตไฟฟ้า การส่งไฟฟ้า การจำหน่ายไฟฟ้า ไปยังผู้บริโภค คือ ผู้ใช้ไฟฟ้าทั่วไป ตั้งแต่ภาคบ้านเรือน ภาคอุตสาหกรรมภาคธุรกิจและการพาณิชย์ เป็นต้น นอกจากนี้ บริบทของระบบสมาร์ตกริดยังครอบคลุมไปถึงภาคการขนส่งด้วย เช่น เพื่อให้สามารถรองรับการนำรถยนต์ไฟฟ้าเข้ามาใช้งาน เป็นต้น

ปัจจุบัน ระบบไฟฟ้าได้ถูกออกแบบและใช้งานมาเป็นระยะเวลายาวนานในอดีตหน้าที่หลักของระบบไฟฟ้าคือการส่งไฟฟ้าจากแหล่งผลิตไปยังผู้ใช้ไฟฟ้า ดังนั้น ระบบไฟฟ้าสามารถพิจารณาแยกออกได้เป็น 2 ส่วนหลักๆ ได้แก่ ด้านอุปทาน (Supply Side) และด้านอุปสงค์ (Demand Side) สำหรับด้านอุปทานนั้นประกอบไปด้วย ระบบผลิตไฟฟ้า (Generation) ได้แก่ โรงไฟฟ้าหรือระบบผลิตไฟฟ้าต่าง ๆ ซึ่งทำหน้าที่ผลิตไฟฟ้าเพื่อจ่ายเข้าสู่ระบบ ไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นมาจะถูกแปลงให้มีความดันไฟฟ้าสูงขึ้นก่อนที่จะจ่ายเข้าสู่ระบบส่งไฟฟ้า (Transmission) โดยสาเหตุที่ต้องแปลงความดันให้สูงขึ้น เนื่องจากต้องลดความสูญเสียในการส่งไฟฟ้าเป็นระยะทางไกล ระบบส่งไฟฟ้าที่มองเห็นได้ชัดเจนคือสายส่งไฟฟ้าแรงสูงที่ทำหน้าที่ส่งไฟฟ้าระยะทางไกล เมื่อไฟฟ้าถูกส่งไปยังบริเวณที่มีผู้ใช้ไฟฟ้าอยู่ ความดันไฟฟ้าจะต้องแปลงให้ต่ำ ทั้งนี้เพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้ไฟฟ้า ดังนั้นความดันไฟฟ้าจะถูกแปลงให้ต่ำแล้วจ่ายเข้าสู่ระบบจำหน่าย (Distribution) ระบบจำหน่ายไฟฟ้านั้นทำหน้าที่ส่งไฟฟ้าไปยังผู้ใช้ไฟฟ้าที่กระจายตัวอยู่ในพื้นที่นั้น ๆ อย่างทั่วถึง

ระบบไฟฟ้าถูกออกแบบเพื่อให้การไหลของกระแสไฟฟ้าเป็นไปในทิศทางเดียวจาก โรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ไปยังผู้ใช้ไฟฟ้า ที่เรียกว่าระบบไฟฟ้าแบบรวมศูนย์ หรือ Centralized Power System โดยกระบวนการทั้งหมดจะเริ่มต้นจากการผลิตไฟฟ้าที่โรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ซึ่งมีขนาด พิกัดระดับร้อยเมกะวัตต์ ไฟฟ้าที่ผลิตได้จะถูกแปลงความดันไฟฟ้าให้สูงขึ้นเพื่อส่งเข้าสู่ระบบส่ง ไฟฟ้า (Transmission Network) เพื่อส่งไฟฟ้าในระยะทางไกล เมื่อใกล้ถึงปลายทางไฟฟ้าจะถูก แปลงให้มีแรงดันต่ำลง เนื่องจากเหตุผลด้านความปลอดภัยและจ่ายเข้าสู่ระบบจำหน่ายไฟฟ้า (Distribution Network) ซึ่งจะนำไฟฟ้าไปส่งต่อไปยังผู้ใช้ไฟฟ้าต่อไป โดยทั่วไปแล้ว การผลิต ไฟฟ้าส่วนมากจะมาจากโรงไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ นอกจากนี้ บางส่วนอาจจะมาจาก พลังงานน้ำ หรือพลังงานนิวเคลียร์ เป็นต้น โดยแหล่งผลิตไฟฟ้า ดังกล่าวถือได้ว่าเป็นการผลิตไฟฟ้าที่สามารถควบคุมกำลังไฟฟ้าได้อย่างแน่นอนและมีความ ต่อเนื่องในกระบวนการผลิต

เมื่อผู้ใช้ไฟฟ้ามีอิสระในการใช้ในทุกช่วงเวลา ทำให้การผลิตไฟฟ้าต้องอ้างอิงตาม ความต้องการไฟฟ้าในช่วงเวลานั้น ๆ เป็นหลัก เพื่อวางแผนและการควบคุมระบบโครงข่าย ไฟฟ้า แม้ระบบไฟฟ้าแบบดั้งเดิมยังคงสามารถใช้งานได้โดยที่ไม่ก่อให้เกิดปัญหาในการจ่าย ไฟฟ้า แต่เนื่องด้วยการพัฒนาเทคโนโลยีที่เป็นไปอย่างต่อเนื่อง ที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าที่ สูงขึ้น อาจจะก่อให้เกิดปัญหาด้านเสถียรภาพของพลังงานได้ในอนาคต ดังนั้น สมาร์ทกริด เทคโนโลยีจะทำให้เกิดศักยภาพในการปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานของ ระบบไฟฟ้า รวมทั้งการแก้ปัญหาของระบบไฟฟ้าที่อาจจะเกิดขึ้น โดยการเข้ามาของพลังงาน หมุนเวียน เช่น พลังงานลม แสงอาทิตย์ เป็นต้น ร่วมกับออกแบบระบบเก็บกักพลังงาน ระบบ ควบคุมการทำงานอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ระบบการจัดการพลังงาน ที่สามารถกำหนดกำลังการผลิต ไฟฟ้าของแต่ละแหล่งในช่วงเวลาต่าง ๆ ที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าได้อย่างเหมาะสม

## 2. ประโยชน์ของสมาร์ทกริดเทคโนโลยี

สมาร์ทกริดเทคโนโลยีมีหลากหลาย [9] ครอบคลุมตั้งแต่ระบบผลิตไฟฟ้าไปจนถึง ภาควิทยุติไฟฟ้า ประโยชน์ที่สำคัญสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

### 2.1 การรวมพลังงานหมุนเวียนเข้าในระบบไฟฟ้า (Renewable Energy Integration)

พลังงานหมุนเวียนมีประโยชน์อย่างมากในการนำไปสู่ระบบพลังงานที่ยั่งยืน และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตาม พลังงานหมุนเวียนแต่ละประเภทก็มีลักษณะ เฉพาะตัวที่แตกต่างกันออกไป พลังงานหมุนเวียนบางประเภทอาศัยแหล่งพลังงานจาก ธรรมชาติเป็นตัวขับเคลื่อนการแปรรูปพลังงานออกมาในรูปแบบที่สามารถใช้งานได้ เช่น

พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม เป็นต้น ซึ่งแหล่งพลังงานหมุนเวียนในลักษณะนี้เรียกว่าแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่มีความผันผวน (Variable Renewable Energy: vRE)

ในปัจจุบันระบบไฟฟ้าอาศัยการบริหารจัดการให้เกิดสมดุลระหว่างการใช้ไฟฟ้ากับการผลิตไฟฟ้าตลอดเวลา ช่วงที่มีความต้องการไฟฟ้าสูง จะมีการผลิตไฟฟ้าสูงขึ้นตามไปด้วย ในขณะที่เดียวกัน ช่วงที่มีความต้องการไฟฟ้าน้อยลง ก็ต้องลดกำลังการผลิตไฟฟ้าตามไปด้วย ในอดีตนั้นโรงไฟฟ้าที่ทำหน้าที่ผลิตไฟฟ้าจ่ายเข้าสู่ระบบไฟฟ้าเป็นโรงไฟฟ้าที่อาศัยเชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นหลัก ดังนั้นผู้บริหารงานระบบโครงข่ายไฟฟ้าจึงสามารถควบคุมการผลิตไฟฟ้าในช่วงเวลาต่าง ๆ ได้ตามต้องการ อย่างไรก็ตาม เมื่อแหล่งผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนที่มีความผันผวนเข้ามาต่อเชื่อมกับระบบในปริมาณที่มากขึ้น จะส่งผลให้การควบคุมภาคการผลิตไฟฟ้าเป็นไปได้น้อยลง รวมถึงหากไม่มีการบริหารจัดการหรือวางแผนที่มีประสิทธิภาพแล้ว ความผันผวนที่เกิดขึ้นจากแหล่งพลังงานหมุนเวียนเหล่านี้จะส่งผลให้ระบบไฟฟ้ามีปัญหาเชิงคุณภาพไฟฟ้าและความน่าเชื่อถือได้

ระบบสมาร์ตกริดเทคโนโลยีสามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อแก้ไขข้อจำกัดเหล่านี้ ระบบการพยากรณ์ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานหมุนเวียนประเภทลมและแสงอาทิตย์สามารถพยากรณ์ล่วงหน้าว่าโรงไฟฟ้าพลังงานลมและแสงอาทิตย์จะมีการผลิตไฟฟ้าในช่วงเวลาต่าง ๆ ได้มากน้อยเพียงใด ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อผู้บริหารงานโครงข่ายไฟฟ้า การพยากรณ์ดังกล่าวนั้นจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลจากหลายส่วน ไม่ว่าจะเป็นข้อมูลด้านสภาพอากาศรวมถึงการพยากรณ์สภาพอากาศในอนาคต ข้อมูลสถานการณ์ของโรงไฟฟ้าต่าง ๆ และการอาศัยข้อมูลสถิติต่าง ๆ ในอดีตมาใช้ในการประมวลผล ซึ่งระบบสมาร์ตกริดเทคโนโลยีจะช่วยให้การแลกเปลี่ยนข้อมูลเหล่านี้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

## 2.2 การลดความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (Peak Reduction)

ความต้องการไฟฟ้าสูงสุดของประเทศไทยนั้นมักจะเกิดขึ้นในช่วงฤดูร้อน [9] และเป็นช่วงที่มีอุณหภูมิสูงที่สุด ส่งผลให้การใช้เครื่องปรับอากาศมีปริมาณมากขึ้นในช่วงเวลาดังกล่าว ความต้องการไฟฟ้าสูงสุดนั้นมักจะเกิดขึ้นเพียงช่วงเวลาสั้นๆ ในแต่ละปี อย่างไรก็ตามภาคการผลิตไฟฟ้าจำเป็นต้องจัดเตรียมกำลังการผลิตไฟฟ้าให้เพียงพอสามารถรองรับความต้องการไฟฟ้าสูงสุดได้

สำหรับระบบไฟฟ้าในปัจจุบัน โรงไฟฟ้าบางประเภทมีอัตราการปรับเปลี่ยนการผลิตไฟฟ้าต่ำ และใช้เวลานานในการเพิ่มหรือลดการผลิตไฟฟ้า เช่น โรงไฟฟ้าถ่านหิน โรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ เป็นต้น โรงไฟฟ้าเหล่านี้มักจะถูกใช้เป็นโรงไฟฟ้าฐาน (Baseload Power Plant) ซึ่งจะมีการผลิตไฟฟ้าที่ค่อนข้างคงที่ในช่วงระยะเวลาอันยาวนาน สำหรับโรงไฟฟ้าอีก

ประเภทหนึ่งมีความยืดหยุ่นในการเพิ่มหรือลดกำลังการผลิต ตัวอย่างระบบผลิตไฟฟ้าประเภทนี้ที่สามารถเห็นได้อย่างชัดเจน คือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชื้อเพลิงน้ำมันดีเซล ซึ่งติดตั้งตามอาคารใหญ่ ๆ หรือตามสถานที่ที่ใช้ไฟฟ้ามีความสำคัญสูงในการปฏิบัติงาน เช่น ท่าอากาศยาน โรงพยาบาล เป็นต้น โดยทั่วไปแล้วเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลสามารถเริ่มเดินเครื่องและเร่งกำลังการผลิตขึ้นสูงสุดได้ในระยะเวลาประมาณแค่ 15 วินาที สำหรับโรงไฟฟ้าที่มีความยืดหยุ่นในการปฏิบัติงานสูงนั้น เช่น โรงไฟฟ้าพลังน้ำ โรงไฟฟ้ากังหันก๊าซซึ่งใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง โรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงน้ำมันดีเซล เป็นต้น โรงไฟฟ้าเหล่านี้มักจะถูกนำมาใช้เป็นโรงไฟฟ้าสำหรับช่วง On Peak หากค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุดเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจะส่งผลให้ต้องมีการก่อสร้างโรงไฟฟ้า Peaking Plant มากขึ้น ซึ่งโรงไฟฟ้าเหล่านี้มีการปฏิบัติงานในช่วงเวลาที่ไม่มากในแต่ละปี ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยสูงกว่าโรงไฟฟ้าฐานเป็นอย่างมาก

สมาร์ตกริดเทคโนโลยีสามารถนำมาประยุกต์ใช้สำหรับการลดความต้องการไฟฟ้าสูงสุดได้ ควบคู่กับการตอบสนองด้านโหลด (Demand Response) แบบอัตโนมัติที่สามารถสื่อสารและสั่งการให้ผู้ใช้ไฟฟ้าบางส่วนลดการใช้ไฟฟ้าลงในช่วงเวลาที่ต้องการได้ ทั้งนี้ต้องอาศัยกลไกราคาและสิ่งจูงใจเข้ามามีส่วนร่วมในการดำเนินการ การตอบสนองด้านโหลดนั้นแม้จะสามารถดำเนินการได้ทันทีโดยไม่ต้องอาศัยระบบสมาร์ตกริดเข้ามาเกี่ยวข้อง แต่ระบบสมาร์ตกริดสามารถช่วยให้การแลกเปลี่ยนข้อมูล การสั่งการ เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น นอกนี้ระบบจัดการพลังงานสามารถนำมาประยุกต์ใช้ตามบ้าน อาคาร หรือโรงงานต่าง ๆ สามารถรองรับการตอบสนองด้านโหลดแบบอัตโนมัติได้ ซึ่งสามารถทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าเหล่านั้นสามารถตอบสนองหรือปรับเปลี่ยนการใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาได้อย่างสะดวก

### 3. อัตราค่าไฟฟ้าการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคประเภทที่ 1 และ 2

ตามประกาศหลักเกณฑ์โครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค พ.ศ. 2558 [10] จะกำหนดให้บ้านที่อยู่อาศัยอยู่ในประเภทที่ 1 และ ประเภทที่ 2 ดังนี้

3.1 ประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย คือ ผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีการใช้ไฟฟ้าภายในบ้านเรือนที่อยู่อาศัย ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งวัด สำนักสงฆ์ และสถานประกอบศาสนกิจ ของทุกศาสนา โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว มีอัตราค่าไฟฟ้า เป็นดังนี้

## ตาราง 1 อัตราค่าไฟฟ้า ประเภทที่ 1

1 อัตราปกติ	ค่าพลังงานไฟฟ้า		ค่าบริการ
	(บาท/หน่วย)		(บาท/เดือน)
1.1 ใช้พลังงานไฟฟ้า ไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน			8.19
15 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 0 - 15)	2.3488		
10 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 16 - 25)	2.9882		
10 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 26 - 35)	3.2405		
65 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 36 - 100)	3.6237		
50 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 101 - 150)	3.7171		
250 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 151 - 400)	4.2218		
เกิน 400 หน่วยขึ้นไป (หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป)	4.4217		
1.2 ใช้พลังงานไฟฟ้า เกิน 150 หน่วยต่อเดือน			38.22
150 หน่วยแรก (หน่วยที่ 0 - 150)	3.2484		
250 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 151 - 400)	4.2218		
เกิน 400 หน่วยขึ้นไป (หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป)	4.4217		
2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate: TOU)	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)		ค่าบริการ
	Peak	Off Peak	(บาท/เดือน)
2.1 แรงดัน 22-33 กิโลโวลต์	5.1135	2.6037	312.24
2.2 แรงดันต่ำกว่า 22 กิโลโวลต์	5.7982	2.6369	38.22

**หมายเหตุ:** โดยที่ กำหนดให้ On Peak คือ ช่วงเวลาในวันจันทร์ - ศุกร์ ตั้งแต่เวลา 09.00 น. - 22.00 น. และ Off Peak คือ ช่วงเวลาในวันจันทร์ - ศุกร์ ตั้งแต่เวลา 22.00 น. - 09.00 น. และวันเสาร์ วันอาทิตย์ วันหยุดราชการตามปกติ (ไม่รวมวันหยุดชดเชย) ทั้งวัน

3.1.1 ผู้ใช้ไฟฟ้าที่ติดตั้งเครื่องวัดไฟฟ้าไม่เกิน 5 แอมป์ 220 โวลต์ 1 เฟส 2 สายจะจัดเข้าประเภทที่ 1.1 แต่หากใช้ไฟฟ้าเกิน 150 หน่วยติดต่อกัน 3 เดือน ในเดือนถัดไปจะจัดเข้าประเภทที่ 1.2 และเมื่อใดมีการใช้ไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วย ติดต่อกัน 3 เดือน ในเดือนถัดไปจะจัดเข้าประเภทที่ 1

3.1.2 ผู้ใช้ไฟฟ้าที่ติดตั้งเครื่องวัดไฟฟ้าเกิน 5 แอมป์ 220 โวลต์ 1 เฟส 2 สาย จะจัดเข้าประเภทที่ 2

3.1.3 ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 1.1 ที่ใช้ไฟฟ้าไม่เกิน 50 หน่วยต่อเดือนทุกราย ยังคงได้รับสิทธิค่าไฟฟ้าฟรีถึงค่าไฟฟ้าประจำเดือนธันวาคม 2558 และตั้งแต่ค่าไฟฟ้าประจำเดือนมกราคม 2559 เป็นต้นไป ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 1.1 ที่ได้รับสิทธิค่าไฟฟ้าฟรีจะต้องไม่เป็นนิติบุคคลและมีการใช้ไฟฟ้า ไม่เกิน 50 หน่วยต่อเดือน ติดต่อกันเป็นระยะเวลาไม่น้อยกว่า 3 เดือน นับถึงเดือนปัจจุบัน

1) ประเภทที่ 2 กรณีติดตั้งเครื่องวัดไฟฟ้าทางด้านแรงต่ำของหม้อแปลงซึ่งเป็นสมบัติของผู้ใช้ไฟฟ้า ให้คำนวณหน่วยคิดเงินเพิ่มขึ้นอีก ร้อยละ 2 เพื่อครอบคลุมการสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งมิได้วัดรวมไว้ด้วย

2) ประเภทที่ 2 เป็นอัตราเลือก ทั้งนี้ผู้ใช้ไฟฟ้าจะต้องชำระค่าใช้จ่ายตามที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนด และหากเลือกใช้ไปแล้ว ไม่น้อยกว่า 12 เดือน สามารถแจ้งความประสงค์เพื่อทำการขอเปลี่ยนไปใช้อัตราประเภทที่ 1.1 ได้

3.2 ประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็ก คือ ผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ ธุรกิจรวมกับบ้านอยู่อาศัย งานอุตสาหกรรม ส่วนราชการ สำนักงาน หรือหน่วยงานอื่นใดของรัฐ องค์การปกครองส่วนท้องถิ่น รัฐวิสาหกิจ สถานทูต สถานที่ทำการของหน่วยงานราชการต่างประเทศ องค์การระหว่างประเทศ หรืออื่น ๆ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งผู้ใช้ไฟฟ้าเหล่านี้มีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีสูงสุด ต่ำกว่า 30 กิโลวัตต์ โดยทำการต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว มีการกำหนดอัตราค่าไฟฟ้า เป็นดังนี้

## ตาราง 2 อัตราค่าไฟฟ้าประเภทที่ 2

2.1 อัตราปกติ	ค่าพลังงานไฟฟ้า		ค่าบริการ
	(บาท/หน่วย)		(บาท/เดือน)
2.1.1 แรงดัน 22 – 33 กิโลโวลต์	3.9086		312.24
2.1.2 แรงดันต่ำกว่า 22 กิโลโวลต์			46.16
150 หน่วยแรก	(หน่วยที่ 150)	3.2484	
250 หน่วยต่อไป	(หน่วยที่ 151 – 400)	4.2218	
เกิน 400 หน่วยขึ้นไป	(หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป)	4.4217	
2.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate: TOU)	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)		ค่าบริการ (บาท/เดือน)
	On Peak	Off Peak	
2.2.1 แรงดัน 22-33 กิโลโวลต์	5.1135	2.6037	312.24
2.2.2 แรงดันต่ำกว่า 22 กิโลโวลต์	5.7982	2.6369	46.16

- หมายเหตุ:** 1. ประเภทที่ 2.2 กรณีติดตั้งเครื่องวัดไฟฟ้าทางด้านแรงต่ำของหม้อแปลงซึ่งเป็นสมบัติของผู้ใช้ไฟฟ้า ให้คำนวณหน่วยคิดเงินเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 2 เพื่อครอบคลุมการสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งมิได้วัดรวมไว้ด้วย
2. ประเภทที่ 2.2 เป็นอัตราเลือก ทั้งนี้ ผู้ใช้ไฟฟ้าจะต้องชำระค่าใช้จ่ายตามที่ใช้การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนด และหากเลือกใช้ไปแล้วไม่น้อยกว่า 12 เดือนสามารถแจ้งความประสงค์ขอเปลี่ยนไปใช้อัตราประเภทที่ 2.1 ได้
3. เดือนใดมีความต้องการพลังไฟฟ้าตั้งแต่ 30 กิโลวัตต์ขึ้นไปในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง ให้เปลี่ยนประเภทผู้ใช้ไฟฟ้าเป็นประเภทที่ 3 หรือ 4 หรือ 5 แล้วแต่กรณี

### งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Pallonetto, Oxizidis, Milano and Finn [11] ทำการศึกษาผลกระทบของอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ร่วมกับระบบสมาร์ตกริด โดยได้ทำการศึกษาใช้อุปกรณ์เกี่ยวกับฮีทปั๊มขนาด 12 กิโลวัตต์ที่อยู่กับแท็งก์น้ำ 0.8 ลูกบาศก์เมตร ร่วมกับโซลาร์เซลล์ขนาด 6 กิโลวัตต์ และนำข้อมูลมาทำการจำลองสถานการณ์ทำให้เกิดการกำหนดขั้นตอนการทำงานที่เหมาะสมโดยวิธีการตีมันด์เรสปอนด์ และผลของการศึกษาทำให้ประเมินค่าใช้จ่ายพลังงานที่ลดลงได้ถึง 16.5 เปอร์เซ็นต์

Miller, Golab and Rosenberg [12] ทำการศึกษาเพื่อวิเคราะห์ผลกระทบสภาพอากาศที่มีผลต่อบ้านที่อยู่อาศัยที่ใช้อัตราตามช่วงเวลาของการใช้โดยมีการนำข้อมูลจากสมาร์ตมิเตอร์ที่ติดตั้งไว้ตามบ้านที่อยู่อาศัยในประเทศแคนาดาประมาณ 20,000 ครั้วเรือน แล้วนำข้อมูลที่ได้มาทำการศึกษาผ่านการสร้างโมเดลเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลทำให้ได้ผลการศึกษาที่ลดค่าไฟฟ้าในช่วงความต้องการไฟฟ้าสูงและช่วงระหว่างความต้องการไฟฟ้าสูง ได้ประมาณ 2.6 และ 2.4 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่ยังไม่ใช่นัยสำคัญ แสดงถึงผลกระทบด้านการกำหนดราคาของ TOU ยังไม่ชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาก่อนหน้านี้ที่ชัดเจนกว่า ซึ่งมีรายละเอียดของการเลือกแบบจำลองสถานการณ์อย่างครบถ้วนสมบูรณ์

Qiu, Colson and Wetzstein [13] ทำการศึกษาความเสี่ยงและสิ่งที่ไม่พึงประสงค์สำหรับการใช้ไฟฟ้าแบบอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ ผลการศึกษาชี้ให้เห็นถึงสิ่งที่ไม่พึงประสงค์กับครั้วเรือนที่ใช้พลังงานน้อยในช่วงเวลาที่มีการใช้อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ และช่วงเวลามีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญและเป็นลบต่อการยอมรับของผู้บริโภคเกี่ยวกับโปรแกรมที่ตั้งค่าอุณหภูมิได้ รวมถึงเทคโนโลยีที่สามารถช่วยให้ครั้วเรือนสามารถตอบสนองต่อการกำหนดราคาของ TOU ได้ดียิ่งขึ้น แต่ยังไม่พบหลักฐานที่แสดงให้เห็นว่าการตัดสินใจของ

ผู้บริโภคในการเลือกใช้ TOU และโปรแกรมที่ตั้งค่าอุณหภูมิมีความสัมพันธ์กัน นอกจากนี้ผลการศึกษายังมีนัยสำคัญที่แสดงว่าผู้กำหนดนโยบายและบริษัท สาธารณูปโภคมีความพยายามที่จะเพิ่มการมีส่วนร่วมแบบสมัครใจในการใช้อัตราตามช่วงเวลาของการใช้

Missaoui, Joumaa, Ploix, and Bacha [14] ได้ทำการศึกษาเรื่องการจัดการพลังงานของบ้านอัจฉริยะที่ขึ้นอยู่กับราคาค่าพลังงาน โดยวิเคราะห์จากระบบการจัดการพลังงานของอาคารที่ใช้หลักการของ Global Model Based Anticipative Building Energy Management System (GMBA-BEMS) ที่หาความเหมาะสมระหว่างการใช้งานที่สะดวกของเจ้าของบ้านกับต้นทุนพลังงานโดยคำนึงถึงข้อจำกัดด้านราคาพลังงานและกำลังไฟฟ้า ระบบ GMBA-BEMS ยืนยันผลจากวิธีการของ MATLAB/Simulink ที่วิเคราะห์ถึงอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น เครื่องทำความร้อน เครื่องซักผ้า และเครื่องล้างจาน ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าการทำงานควบคู่กันระหว่างการออกแบบตารางการใช้งานและการทำนายราคาพลังงานทำให้ต้นทุนลดลงประมาณ 1 ยูโรต่อวัน (365 ยูโรต่อปี) ผลที่ได้นี้ช่วยยืนยันถึงการมีส่วนร่วมของผู้อยู่อาศัยที่จะต้องมีส่วนร่วมในการกำหนดการใช้งานอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อเป็นการควบคุมการใช้พลังงาน

Iwafune, Mori, Kawai and Yagita [15] ทำการศึกษาถึงผลกระทบของการอนุรักษ์พลังงานของบ้านอัตโนมัติต่อการใช้ประโยชน์จากระบบการจัดการพลังงานของบ้านที่อยู่อาศัยในประเทศญี่ปุ่น การศึกษาครั้งนี้ประเมินผลของการใช้ประโยชน์ที่ได้จากบ้านที่ใช้ข้อมูลระบบการจัดการพลังงานในบ้าน (HEMS) กว่า 1,600 ครัวเรือนในประเทศญี่ปุ่น ทำการเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างกลุ่มที่ส่งผลรายงานกับไม่รายงานผลของระบบการจัดการพลังงานสำหรับบ้านโดยสมการถดถอย ผลที่เด่นชัดจะอยู่ในช่วงฤดูหนาวและทำให้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าลดลง 3.4% เมื่อเทียบกับปีที่ผ่านมาสำหรับบ้านทั่วไป และลดลงอีก 5.4% สำหรับครัวเรือนที่มีการใช้ไฟฟ้าสูงขึ้นสำหรับผู้ที่ใช้เครื่องทำความร้อนลงอย่างมีนัยสำคัญจาก 11.4% ในพื้นที่ที่สำรวจ ขณะที่ไม่มีผลกระทบมากนักในช่วงฤดูร้อน ที่บ้านขนาดใหญ่จะลดปริมาณการใช้พลังงานได้ 2 % อันเนื่องมาจากการลดลงของการใช้ระบบน้ำเย็น 6.8% และน้ำร้อน 7% เมื่อเทียบกับเดือนก่อนหน้านั้น ส่วนบ้านขนาดเล็กมีการเพิ่มขึ้นของการพื้นที่ต้องใช้ระบบความเย็นเพิ่มขึ้นมากกว่า 10 % จากค่าเฉลี่ย ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่พึงปรารถนาที่จะส่งผลกระทบต่อกลับมา ผลจากการเก็บข้อมูลสะสมช่วยยืนยันว่าระบบการจัดการพลังงานมีส่วนช่วยลดพลังงานลงได้จากการสำรวจข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างในช่วง 2 ฤดูหนาวที่มีผลสะสมลดลง 7.5%

Derakhshan, Shayanfar and Kazemi [16] ทำการศึกษาเรื่องโปรแกรมสำหรับการตอบสนองด้านโหลด (Demand Response) ที่เหมาะสมในสมาร์ตกริดเทคโนโลยี เพื่อให้สามารถอธิบายให้เห็นผลลัพธ์ที่ชัดเจนของการใช้สมาร์ตกริดในการลดค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าด้วย

การใช้โปรแกรม Teaching & Learning Based Optimization (TLBO) และ Shuffled Frog Leaping (SFL) ในการจัดขั้นตอนการทำงานและรูปแบบการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสม ในการศึกษาบ้านที่อยู่อาศัย 4 กลุ่มในกรุงเทพมหานคร ประเทศอิหร่าน ที่มีการใช้ค่าไฟฟ้าอัตราแบบ TOU แบบ Real Time Pricing แบบ Critical Peak Pricing และกลุ่มที่ไม่นำอัตราค่าไฟฟ้ามาคิดผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าการนำโปรแกรมตอบสนองด้านโหลดสามารถลดค่าไฟฟ้าทั้งหมดได้ ซึ่งถือว่าเป็นเทคนิคการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้า

Shakeri et al. [17] ศึกษาเรื่องสถาปัตยกรรมระบบอัจฉริยะในระบบการจัดการพลังงานภายในบ้าน (HEMS) เพื่อตอบสนองความต้องการที่มีประสิทธิภาพในกริดสมาร์ท โดยอธิบายระบบการจัดการพลังงานหลัก (Home Energy Management System – HEMS) ว่าเป็นส่วนสำคัญของระบบสมาร์ตกริด (smart grid) ซึ่งจะช่วยให้ผู้บริโภคสามารถใช้งานโปรแกรมตอบสนองความต้องการได้อย่างอิสระ การศึกษาแสดงถึงผลงานของสถาปัตยกรรมระบบใหม่และขั้นตอนการควบคุมที่สามารถดูแลทั้งระบบกักเก็บพลังงานของแบตเตอรี่และควบคุมอุณหภูมิของอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการปรับอุณหภูมิ ขั้นตอนการทำงานที่เสนอจะได้รับข้อมูลเรื่องราคาจากบริษัทสาธารณูปโภคล่วงหน้า และสั่งการใช้ไฟฟ้าในช่วงที่มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าต่ำ (Off Peak) และสั่งการระบบกักเก็บพลังงานของแบตเตอรี่และควบคุมอุณหภูมิของอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการปรับอุณหภูมิในช่วงที่มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูง (On Peak) ซึ่งขั้นตอนการทำงานที่สร้างขึ้นทำให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ต่ำกว่าการใช้งานปกติ โดยบ้านตัวอย่างได้รับพลังงานไฟฟ้าจากระบบแบตเตอรี่และระบบไฟฟ้าโซลาร์เซลล์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของแหล่งพลังงานทดแทน โดยผลลัพธ์ทำให้ปริมาณพลังงานที่มาจากแบตเตอรี่จะถูกกำหนดด้วยขั้นตอนการทำงานหรืออัลกอริทึมที่มีการส่งผ่านข้อมูลระหว่างวัน ผลการจำลองสถานการณ์แสดงให้เห็นว่าระบบที่ถูกสร้างขึ้นในการวิจัยนี้สามารถลดราคาไฟฟ้าได้ถึง 20% ต่อวันโดยไม่ต้องกระทบต่อความสะดวกสบายของผู้ใช้ไฟฟ้า

Xu [18] ศึกษาเกี่ยวกับรูปแบบและขั้นตอนการทำงานที่เหมาะสมสำหรับการตอบสนองด้านโหลด (Demand Response) ในระบบสมาร์ตกริด โดยศึกษาข้อมูลเชิงประจักษ์จากโครงการนำร่องเรื่องการตอบสนองความต้องการในเมืองเคนดัลล์ ที่พิจารณาพฤติกรรมผู้บริโภคภายใต้การตอบสนองความต้องการ และกำหนดลักษณะการเปลี่ยนแปลงอากาศเพื่อทำการตั้งค่าการทำงานของการระบายอากาศและเครื่องปรับอากาศที่มีผลต่อการตอบสนองความต้องการ จากการสำรวจข้อมูลจริงเพื่อจะนำมาทำการวิเคราะห์แนวทางการลดความต้องการสูงสุดระบบ มีการพิจารณาเรื่องอุณหภูมิ อุปกรณ์ และระบบแบตเตอรี่ในสมาร์ตกริด แล้วการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมจำนวนเต็มแบบผสมผสานร่วมกับขั้นตอนการทำงานที่เป็น

Heuristic Algorithm สำหรับจัดลำดับการทำงานที่มีความยืดหยุ่นและเหมาะสม โดยไม่กระทบต่อความรู้สึกของผู้ใช้ไฟฟ้า และใช้โมเดล System Optimal (SO) และ Equilibrium (UE) ร่วมกับการประยุกต์เงื่อนไขของ Karush–Kuhn–Tucker (KKT) เพื่อให้สามารถลดปัญหาของระบบในเรื่องความต้องการพลังงานไฟฟ้า และทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าได้รับประโยชน์สูงสุดจากขั้นตอนการทำงานที่เหมาะสม

Hussain et al. [19] ทำการทบทวนงานวิจัยและหลักการของการตอบสนองด้านโหลด (Demand Response) ที่เกี่ยวข้องกับค่าไฟฟ้า ความเหมาะสมและการจัดลำดับการใช้งานอุปกรณ์ เพื่อให้ทราบถึงวิวัฒนาการของกริดไฟฟ้าทั่วไปใน Smart Grid (SG) ที่จะช่วยให้ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถนำไปประยุกต์ใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ได้อย่างเหมาะสมกับอัตราค่าไฟฟ้าที่ต่างกันไป ผลจากการศึกษาได้นำเสนอการสำรวจการวิจัยที่เผยแพร่ในเรื่องของ DR ที่มีการส่งสัญญาณแจ้งเตือนข้อมูลของอัตราค่าไฟฟ้าและแผนการใช้งานของอุปกรณ์ต่าง ๆ (Appliance Scheduling: AS) ที่มีการกำหนดเงื่อนไขไว้อย่างหลากหลาย ผลของการประหยัดค่าไฟฟ้าสูงสุดจะอยู่ในช่วง 24% ถึง 44.1% ในขณะที่ค่าเฉลี่ยของการลดความต้องการสูงสุดอยู่ที่ 38% ส่วนผลการจำลองสถานการณ์ของบางงานวิจัย แสดงให้เห็นว่าสามารถทำการปรับรูปแบบของความต้องการไฟฟ้าของระบบได้นานถึง 11 ปี โดยที่ไม่มีการปรับปรุงโครงสร้างพื้นฐานใด ๆ

Rajalingam and Malathi [20] ศึกษาเกี่ยวกับขั้นตอนการทำงานของการจัดการพลังงานสำหรับบ้านด้วยระบบควบคุมอัจฉริยะ ที่แสดงให้เห็นว่าระบบการจัดการพลังงานสำหรับบ้านมีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนค่าไฟฟ้าและหลีกเลี่ยงปัญหาความต้องการสูงสุด โดยบ้านที่เป็นตัวอย่างของงานวิจัยประกอบด้วยอุปกรณ์ไฟฟ้าอัจฉริยะ ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ พร้อมด้วยแบตเตอรี่ ระบบเครือข่ายการสื่อสารอัจฉริยะและตัวควบคุมที่มีประสิทธิภาพ ตัวควบคุมจะทำการกำหนดปริมาณการใช้ไฟฟ้าเพื่อสอดคล้องกับค่าไฟฟ้าอัตราตามช่วงของการใช้ (TOU) และมีการตรวจสอบปริมาณพลังงานไฟฟ้าและจัดหมวดหมู่ของพลังงานที่มีอยู่ในระบบพลังงานแสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ รวมทั้งการจ่ายไฟจากสายส่งหลัก ร่วมกับพลังงานไฟฟ้าที่ใช้สำหรับเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านอย่างสม่ำเสมอ โดยจะกำหนดให้ใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นอันดับแรก เมื่อไม่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้เพียงพอต่อการใช้งานจะถูกสั่งให้ใช้พลังงานจากแหล่งผลิตไฟฟ้าถัดไปตามลำดับ โดยการวิเคราะห์ด้านพลังงานของงานวิจัยนี้ใช้วิธีการ Selective Harmonic Elimination (SHE) และระบบการจัดการพลังงานสำหรับบ้านได้รับการพัฒนาและจำลองสถานการณ์ด้วย MATLAB / Sim Power System (SPS) ผลของการจำลองสถานการณ์แสดงให้เห็นว่าระบบการทำงานในงานวิจัยนี้สามารถช่วยลดต้นทุนค่าไฟฟ้า ปัญหาความต้องการสูงสุดและเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานมากเท่าใดนั้น ขึ้นอยู่กับขั้นตอน

วิธีการจัดการพลังงานสำหรับบ้าน (Home Energy Management: HEM) เช่นเดียวกับค่าไฟฟ้า อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ที่มีผลต่อการลดค่าความต้องการสูงสุด โดยมีตัวควบคุมอัจฉริยะ กำหนดขั้นตอนการจัดการพลังงานสำหรับบ้านและเลือกหน่วยไฟฟ้าตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีความจำเป็นในการแปลงพลังงานจาก DC จากแสงอาทิตย์ให้เป็น AC สำหรับการเครื่องใช้ไฟฟ้าเหมือนกระแสจากสายส่งหลักเพื่อขจัดปัญหาคุณภาพของพลังงานที่อาจจะเกิดขึ้น

Fera, Macchiaroli, Iannone, Miranda and Riemma [21] ศึกษารูปแบบการประเมินด้านเศรษฐศาสตร์สำหรับการตอบสนองด้านโหลดของพลังงาน ได้กล่าวถึงความต้องการวิธีการใหม่ ๆ สำหรับการผลิตการส่งผ่านและการกระจายกระแสไฟฟ้าจากความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีที่สังเกตได้จากแนวโน้มของตลาดด้านพลังงานไฟฟ้า กระบวนการทางเทคโนโลยีในการวิวัฒนาการอย่างต่อเนื่องที่มุ่งเน้นปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม รวมทั้งการจัดการและป้องกันปัญหาของสายส่งหลัก ความพยายามในการวิจัยและพัฒนาที่สำคัญจำนวนมากที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีจำนวนมาก และต้องการวิสัยทัศน์ทางด้านการออกแบบแบบสหวิทยาการสูงทำให้เกิดแนวคิดใหม่ที่เรียกว่า "สมาร์ทกริด" โดยการศึกษาเน้นความสนใจไปที่เรื่องการตอบสนองด้านโหลด (Demand Response: DR) ซึ่งเป็นมาตรการสำหรับการจัดการแบบอัจฉริยะของการใช้พลังงานไฟฟ้า การศึกษาจึงมีจุดมุ่งหมายที่จะนำเสนอขั้นตอนการทำงานหรืออัลกอริทึมที่จะช่วยการตัดสินใจการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมของแต่ละวัน โดยใช้วัตถุประสงค์เชิงเศรษฐกิจผ่านแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และมีการใช้วิธีการฮิวริสติก เพื่อกำหนดและกำหนดค่าการกระจายการใช้พลังงาน ซึ่งแบบจำลองที่ได้จะเป็นสิ่งยืนยันและทำให้เข้าใจถึงประสิทธิภาพและความสามารถ และประโยชน์โดยรวมที่จะได้รับของมาตรการการตอบสนองด้านโหลด (DR)

Nan, Zhou and Li [22] ศึกษาเรื่องการจัดลำดับการตอบสนองด้านโหลดของชุมชนที่อยู่อาศัยที่เหมาะสมที่สุดในสมาร์ทกริด นำเสนอรูปแบบการจัดลำดับการตอบสนองด้านโหลดสำหรับที่อยู่อาศัยใหม่ชุมชนที่รวมสถานการณ์ปัจจุบันและแนวโน้มในอนาคตของโปรแกรมการตอบสนองด้านโหลด งานวิจัยจะมีการแยกประเภทที่อยู่อาศัยอัจฉริยะแบบต่าง ๆ ตามโปรแกรมการตอบสนองด้านโหลด จากนั้นจะจัดรูปแบบลำดับความต้องการที่สมบูรณ์แบบที่ขึ้นอยู่กับการจัดส่งและการกระจายพลังงาน เพื่อลดต้นทุนการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้และลดความต้องการสูงสุดที่มีหลากหลายรูปแบบของชุมชนโดยไม่ทำให้ผู้ใช้รู้สึกอึดอัด โดยชุมชนที่อยู่อาศัยสามารถมีส่วนร่วมในการตอบสนองด้านโหลดได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้รูปแบบนี้ยังช่วยสนับสนุนการตัดสินใจของกลยุทธ์การกำหนดราคาไฟฟ้าภายใต้การพัฒนาตลาดพลังงาน

Ghazvini, Soares, Abrishambaf, Castro and Vale [23] ศึกษาเกี่ยวกับการดำเนินการเรื่องการตอบสนองด้านโหลดของครัวเรือนอัจฉริยะที่มีการศึกษาในเรื่องการจัดการพลังงานสำหรับบ้านร่วมกับโปรแกรมการตอบสนองด้านโหลด โดยมีการผลิตกระแสไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ (Photovoltaic: PV) รถไฟฟ้า (Electric vehicle: EV) และเครื่องทำน้ำร้อนไฟฟ้า (Electric Water Heater: EWH) และระบบกักเก็บพลังงาน (Energy Storage System: ESS) เข้าในระบบด้วย มีการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ และระบบกักเก็บพลังงานเพื่อวิเคราะห์ข้อดีและข้อเสีย ผลที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ทำให้เห็นถึงความหลากหลายของประสิทธิภาพของระบบการจัดการพลังงานสำหรับบ้านที่ขึ้นอยู่กับอัตราค่าไฟฟ้าและการตอบสนองด้านโหลดที่แตกต่างกัน ซึ่งในกรณีศึกษามีการวัดผลจริง จากการพิจารณาการใช้งานของครัวเรือน การคาดการณ์การผลิตกระแสไฟฟ้าของ PV บนชั้นดาดฟ้า และข้อกำหนดที่สร้างขึ้นสำหรับเครื่องใช้ไฟฟ้าที่สามารถควบคุมได้ ผลการศึกษาพบว่าเครื่องใช้ไฟฟ้าในครัวเรือนลดลง 29.5% ถึง 31.5% ในแต่ละวัน โดยการใช้ขั้นตอนการทำงานที่เหมาะสมสำหรับระบบการจัดการพลังงานสำหรับบ้าน (HEMS) แทนการใช้ขั้นตอนการทำงานขั้นพื้นฐานที่ไม่ซับซ้อนตามรูปแบบการกำหนดราคาที่แตกต่างกัน

Minchala-Avila, Armijos, Pesántez and Zhang [24] นำเสนอการออกแบบและการดำเนินการมาตรวัดอัจฉริยะ (Smart Meter: SM) ด้วยความสามารถในการตอบสนองด้านโหลด (Demand Response: DR) โดยการออกแบบมาตรวัดอัจฉริยะถูกทดสอบด้วยการจำลองสถานการณ์ที่ใช้เป็นโครงสร้างพื้นฐานด้านการวัดขั้นสูง (Advanced Measurement Infrastructure: AMI) ซึ่งจะช่วยให้สามารถสื่อสารแบบสองทิศทางระหว่างมาตรวัดอัจฉริยะในครัวเรือนและระบบการจัดการระบบจำหน่ายไฟฟ้า (Distribution Management System: DMS) ซึ่งใช้ในระบบการจัดการพลังงาน (Energy Management System: EMS) ที่สำหรับโปรแกรมการตอบสนองด้านโหลดอย่างง่าย (Demand Response Program: DRP) และขึ้นอยู่กับอัตราตามเวลาการใช้ (TOU) ที่พิจารณาอัตราค่าไฟฟ้าในช่วงที่มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงและต่ำ ผลลัพธ์จากการจำลองสถานการณ์และการรวบรวมข้อมูลจากมาตรวัดอัจฉริยะ พบว่า การปรับปรุงการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงที่มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงมีผลต่อการลดการใช้ไฟฟ้าอย่างมีนัยสำคัญ

Sadineni et.al [25] ทำการศึกษาที่มุ่งเน้นหาผลกระทบของแนวทางการใช้ PV ที่มีต่อความต้องการสูงสุดของอาคาร นอกจากนี้ยังพิจารณาจากอัตราค่าไฟฟ้า TOU ที่จะส่งผลให้เกิดประโยชน์ต่อการใช้งานของอาคาร วิธีการกำหนดราคาที่เหมาะสมสำหรับแต่ละอาคาร ผลที่ได้จากโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์จึงถูกสร้างขึ้นเพื่อจำลองการใช้พลังงานสำหรับอาคาร เพื่อ

คำนวณแนวทางการใช้ของ PV และกำหนดแนวทางที่เหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ ด้วยการกำหนดค่าไฟฟ้าแบบคงที่และค่าไฟฟ้าแบบ TOU การพยากรณ์ในแบบจำลองวิธีการประหยัดพลังงานสำหรับบ้านสามารถลดพลังงานต่อปีลงได้ 38% เมื่อเทียบกับบ้านมาตรฐานที่มีขนาดเดียวกัน

Syed et.al [26] นำเสนอการเพิ่มประสิทธิภาพการพยากรณ์สำหรับระบบ battery ที่เชื่อมต่อกับเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อลดการใช้พลังงานจากระบบกริด โดยพิจารณาการควบคุมระบบการกักเก็บพลังงานของแบตเตอรี่ เพื่อคาดการณ์ความต้องการพลังงานและแผงเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับการพิจารณาอัตราค่าไฟฟ้าและสถานะของระบบจัดเก็บพลังงานแบตเตอรี่ที่จะช่วยเพิ่มสัดส่วนของการใช้พลังงานจาก PV ผลการศึกษาแสดงให้เห็นถึงการประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของผู้ใช้ไฟฟ้า แต่มีการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ที่สูญเสียมากขึ้น

Okoye and Solyali [27] และ Sampaio and González [28] อธิบายข้อดีของการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ เช่น ความน่าเชื่อถือของระบบ, ต้นทุนการดำเนินงานที่ต่ำ, พลังงานที่สะอาด และเป็นแหล่งพลังงานที่ได้ฟรี โดยนักวิจัยเหล่านี้หาวิธีการจำลองหาขนาดที่เหมาะสมของพลังงานแสงอาทิตย์ของบ้านอยู่อาศัยแต่ละประเภท ซึ่งมีความยุ่งยากในการหาเทคนิคต่างๆ เพื่อนำมาประยุกต์ เช่น ด้านเศรษฐศาสตร์ ห่วงโซ่อุปทาน และปัจจัยเชิงลึกต่าง ๆ อย่างไรก็ตาม การจำลองหาขนาดพลังงานแสงอาทิตย์จะช่วยสร้างผลประหยัดค่าไฟฟ้าให้แก่บ้านอยู่อาศัยได้

รัฐภาพร คำภู และนาตยา คล้ายเรือง [29] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการวิเคราะห์หาค่าศักยภาพในการลดค่าพลังงานไฟฟ้าสูงสุดในช่วงเวลาวิกฤต ด้วยมาตรการการตอบสนองด้านโหลด โดยใช้วิธีการสำรวจข้อมูลการผลิต และศึกษารูปแบบการใช้ไฟฟ้าของกลุ่มโรงงานตัวอย่างประเภทเคมีภัณฑ์ จำนวน 14 โรงงาน โดยทำการติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดค่าทางไฟฟ้าของโรงงาน แล้วนำผลการสำรวจและตรวจวัดมาหาค่าศักยภาพในการลดค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดในช่วงที่ประเทศเกิดค่าพลังงานไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งมักเกิดขึ้นในช่วงเวลา 13.00 – 16.00 น. ของวันทำงานในฤดูร้อน จากผลการสำรวจสามารถสรุปมาตรการในการลดค่าพลังงานไฟฟ้าสูงสุดของแต่ละโรงงานออกมาได้เป็น 2 แนวทาง คือ การใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง และการปรับกระบวนการผลิต จากการศึกษาทำให้ทราบศักยภาพในการลดค่าพลังงานไฟฟ้าสูงสุดของโรงงานตัวอย่าง 14 โรงงานมีค่าศักยภาพรวมสูงสุดเท่ากับ 5,628 kW หรือคิดเป็นร้อยละ 12.28 ของค่าพลังงานไฟฟ้าสูงสุดรวมที่โรงงานตัวอย่างทั้งหมดใช้ ส่งผลให้กลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมประเภทเคมีภัณฑ์มีศักยภาพในการช่วยลดค่าพลังงานไฟฟ้าสูงสุดของประเทศได้เท่ากับ 32 MW ในช่วงเวลาวิกฤต

เอกรินทร์ วัชรยิ่งยง [30] ทำการศึกษาการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัย กรณีอัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้กับกรณีอัตราค่าไฟฟ้าปกติพบว่า ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัยที่ควรเปลี่ยนจากอัตราค่าไฟฟ้าปกติมาใช้อัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้คือผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีปริมาณการใช้ไฟฟ้ามาก คือ มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อเดือนตั้งแต่ 1,000 หน่วยขึ้นไป และมีสัดส่วนของการใช้ไฟฟ้าในช่วงความต้องการไฟฟ้าสูง (On Peak) ต่อช่วงความต้องการไฟฟ้าต่ำ (Off Peak) ที่อัตราต่ำกว่าร้อยละ 45 ต่อ 55 เนื่องจากเป็นสัดส่วนเริ่มต้นที่จะทำให้มีความประหยัดต่อค่าไฟฟ้า และจะทำการพิจารณาลักษณะการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบการตัดสินใจเปลี่ยนมาใช้อัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาการใช้ สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อเดือน ตั้งแต่ 400 ถึง 1,000 หน่วย ขณะที่ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัยที่มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อเดือนน้อยกว่า 400 หน่วย ไม่สามารถใช้อัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้เพื่อเป็นเครื่องมือหรือมาตรการที่ทำให้เกิดการประหยัดค่าไฟฟ้าได้ นอกจากนี้ เมื่อนำปริมาณการใช้ไฟฟ้าและสัดส่วนของการใช้ไฟฟ้าในช่วงใน ช่วงความต้องการไฟฟ้าสูง (On Peak) ต่อช่วงความต้องการไฟฟ้าต่ำ (Off Peak) มาพิจารณาเลือกผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีศักยภาพทำการประหยัดค่าไฟฟ้าจากการเปลี่ยนมาใช้อัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้ได้แล้ว การปรับพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าให้เท่าเดิมหรือลดลง รวมทั้งการปรับปริมาณการใช้ไฟฟ้า ช่วงความต้องการไฟฟ้าสูงให้ลดลงได้ จะยิ่งช่วยทำให้เกิดความประหยัดค่าไฟฟ้าได้มากยิ่งขึ้น ส่วนภาพรวมระดับประเทศ หากจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าที่เปลี่ยนมาใช้อัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้เพิ่มมากขึ้น รวมทั้งลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าช่วงความต้องการไฟฟ้าสูงลง จะเป็นส่วนหนึ่งที่ช่วยประเทศในการประหยัดจำนวนพลังงานไฟฟ้าและค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าช่วงความต้องการไฟฟ้าสูงเพิ่มมากยิ่งขึ้น

ศศิณ ทวีรสกุล และวิชัย สุระพัฒน์ [31] ทำวิจัยเรื่องการเพิ่มตัวประกอบการใช้ไฟฟ้า และลดค่าไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าในอุตสาหกรรมการผลิตท่อโลหะที่ใช้ในงานก่อสร้างและติดตั้งที่มีการใช้ไฟฟ้าแบบการแบ่งตามช่วงเวลา มีการศึกษาและนำเสนอการจัดการการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทอุตสาหกรรมการผลิตท่อโลหะที่ดำเนินการในด้านการก่อสร้างและทำการติดตั้ง โดยทำการพิจารณาคัดเลือกเฉพาะผู้ใช้ไฟฟ้าที่ใช้ไฟฟ้าแบบอัตราการใช้ไฟฟ้าแบบช่วงเวลา โดยการปรับแผนการทำงานที่มีการกำหนดเวลาการทำงานของการผลิตให้เป็น 2 ช่วงเวลาการทำงาน สำหรับการลดค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุด แต่ยังคงใช้พลังงานไฟฟ้าเท่าเดิมสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ให้ได้ปริมาณเท่าเดิม และมีการนำค่าตัวประกอบการใช้ไฟฟ้า ค่าแรงงานและค่าไฟฟ้า มาพิจารณาเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดทั้งการไฟฟ้า และผู้ใช้ไฟฟ้าด้วย

นพรัตน์ เกตุขาว และวิชญ์พล พักแก้ว [32] ทำการศึกษาเรื่องการจัดการใช้ไฟฟ้าสำหรับกิจการขนาดกลางในเขตภาคเหนือ เพื่อการศึกษาแนวทางในการจัดการใช้ไฟฟ้าเพื่อลดค่าไฟฟ้าของกิจการขนาดกลาง โดยการนำข้อมูลโครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคปี พ.ศ. 2558 สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าที่รับแรงดันไฟฟ้า 22 - 33 kV มาวิเคราะห์ นอกจากนี้ยังได้นำข้อมูลค่าไฟฟ้าของกลุ่มกิจการขนาดกลางในเขตภาคเหนือจำนวน 36 แห่ง ประกอบด้วย โรงแรม 12 แห่ง โรงน้ำแข็ง 12 แห่ง และโรงสีข้าว 12 แห่ง มาศึกษาศักยภาพในการลดค่าไฟฟ้าตามแนวทางการจัดการใช้ไฟฟ้าอีกด้วย ซึ่งจากผลการศึกษาโครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้า พบว่าผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีค่าสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้า ( $kWh_p/kWh_{Total}$ ) ต่ำกว่า 0.4 หรือมีค่าตัวประกอบการใช้ไฟฟ้าต่ำกว่า 0.09 จะมีค่าไฟฟ้าเมื่อคิดจากอัตรา TOU ถูกกว่าอัตราปกติเสมอ และผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทอัตรา TOU สามารถลดค่าไฟฟ้าฐานต่อหน่วยได้สูงสุดประมาณ 25 สตางค์เมื่อสามารถลดสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ 20% ส่วนค่าตัวประกอบการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมค่าใช้จ่ายในส่วนของคุณค่าพลังไฟฟ้าจะแปรผันกับค่าสัดส่วนพลังไฟฟ้า ( $P_{Peak}/P$ ) และค่าตัวประกอบการใช้ไฟฟ้าของ  $P_{Peak}$  ที่เหมาะสมนั้น ไม่ควรจะต่ำกว่า 0.6 จากผลการศึกษาข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 36 แห่ง พบว่ากิจการที่ไฟฟ้าอัตราปกติเดิมจะมีศักยภาพสูงในการลดค่าไฟฟ้าด้วยการเปลี่ยนประเภทผู้ใช้เป็นอัตรา TOU และกลุ่มกิจการตัวอย่างที่นำมาศึกษาทั้ง สามกลุ่ม มีศักยภาพในการลดค่าไฟฟ้าด้วยการเพิ่มค่าตัวประกอบการใช้ไฟฟ้า

จากข้อมูลของการวิจัยในอดีตที่ผ่านมา ดังแสดงไว้ในตาราง 3 ลักษณะของงานวิจัยที่มีการศึกษาเรื่องค่าไฟฟ้าอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นกิจการขนาดกลางขึ้นไป บางงานวิจัยที่ศึกษาในระดับบ้านที่อยู่อาศัยยังมิได้คำนึงถึงพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าและแบ่งกลุ่มของบ้านที่อยู่อาศัยและกิจการขนาดเล็ก ทำให้ผู้วิจัยมีเป้าหมายที่จะทำการวิจัยเพื่อหาแนวทางการลดค่าไฟฟ้าด้วยแนวทางการลดค่าไฟฟ้าด้วยการใช้เซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับค่าไฟฟ้าอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ที่เหมาะสมร่วมกับค่าไฟฟ้าอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ เพื่อให้การจัดการพลังงานสำหรับบ้านมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ตาราง 3 เปรียบเทียบงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นักวิจัย	ปี (คศ.)	อัตราตาม ช่วงเวลาของ การใช้	การจัด		พลังงาน ทดแทน
			การพลังงาน สำหรับบ้าน/ กิจการขนาด เล็ก	การจัด การพลังงาน สำหรับกิจการ ขนาดใหญ่	
Pallonetto	2016	✓			✓
Miller	2017	✓	✓		✓
Qiua	2017	✓	✓		
Missaoui	2014		✓		
Iwafune	2017		✓		
Kazemi	2017	✓	✓		✓
Shakeri	2017	✓	✓		✓
Xu	2016	✓	✓		✓
Hussain	2015				✓
Rajalingam	2016		✓		✓
Fera	2016				✓
Nan	2017				✓
Ghazvini	2017				✓
Minchala- Avila	2016				✓
รัชฎาพร	2015	✓		✓	
เอกรินทร์	2005	✓			
ศศิณ	2014	✓		✓	
นพรัตน์	2016	✓		✓	
เป้าหมาย	2017	✓	✓		✓

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

#### เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

เครื่องมือที่ใช้สำหรับการศึกษาแนวทางการลดค่าไฟฟ้าด้วยการใช้เซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับอัตราตามช่วงเวลาของการใช้สำหรับบ้านอยู่อาศัยและกิจการขนาดเล็ก มีดังนี้

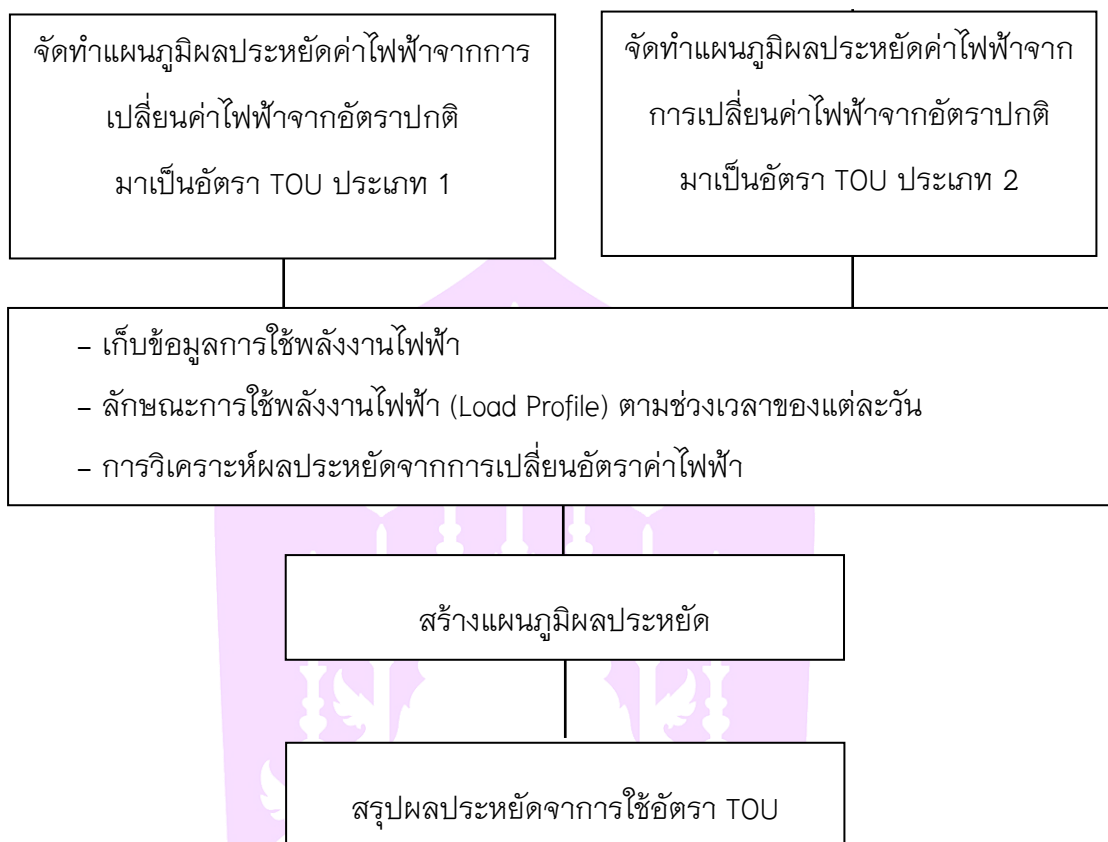
1. แบบบันทึกข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของบ้านที่อยู่อาศัยและกิจการขนาดเล็ก
2. ใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าจากบ้านตัวอย่าง ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
3. คอมพิวเตอร์และโปรแกรมสำหรับการคำนวณ

#### ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

เพื่อเป็นแนวทางให้การดำเนินงานวิจัยอย่างมีระบบและดำเนินงานวิจัยให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยอย่างครบถ้วน ตามกำหนดการอย่างมีประสิทธิภาพ ผู้วิจัยจึงกำหนดขั้นตอนของการวิจัยเป็น 2 ส่วน และมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ส่วนที่ 1 การศึกษาเป็นการจำลองผลประหยัดค่าไฟฟ้าจากการเปลี่ยนมาใช้ค่าไฟฟ้าแบบอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Tariffs)

1. นำข้อมูลโครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าปี พ.ศ. 2558 ตามประกาศของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมาจัดทำแผนภูมิผลประหยัดค่าไฟฟ้าจากการเปลี่ยนค่าไฟฟ้าจากอัตราปกติ มาเป็นอัตรา TOU
2. วิเคราะห์ผลประหยัดจากการเปลี่ยนอัตราค่าไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภท 1 และ 2
3. ทดลองนำข้อมูลที่ได้ทำการประเมินอุปกรณ์และลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้า (Load Profile) ตามช่วงเวลาของแต่ละวันของบ้านตัวอย่าง
4. สรุปผลการวิเคราะห์ผลประหยัดจากการเปลี่ยนอัตราค่าไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าจากบ้านตัวอย่าง ดังภาพ 5



ภาพ 5 การจำลองผลประหยัลดค่าไฟฟ้าจากการเปลี่ยนอัตราค่าไฟฟ้า

**ส่วนที่ 2** การจำลองวิธีการเลือกขนาดพลังงานแสงอาทิตย์ (Photovoltaic: PV) ที่เหมาะสมสำหรับค่าไฟฟ้าอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU)

การวิจัยจะทำการจำลองวิธีการเลือกขนาดพลังงานแสงอาทิตย์ (Photovoltaic: PV) ที่เหมาะสมสำหรับค่าไฟฟ้าแบบอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU) เพื่อวิเคราะห์ผลการศึกษานโยบายการลดค่าใช้จ่ายพลังงานของบ้านและกิจการขนาดเล็ก โดยมีขั้นตอนดังแสดงในภาพ 6 และมีรายละเอียดดังนี้

1. สร้างสมการค่าไฟฟ้าของอัตราปกติและอัตรา TOU โครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าปี พ.ศ. 2558 ตามประกาศของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
2. ประเมินพลังงานที่ผลิตจากระบบพลังงานแสงอาทิตย์ จากศักยภาพแสงอาทิตย์ของจังหวัดพะเยา

3. สร้างสมการค่าไฟฟ้าของอัตราปกติและอัตรา TOU เมื่อติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์

4. หาขนาดต่ำสุดของ PV ที่เริ่มได้รับประโยชน์จากค่าไฟฟ้าอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU) จากเงื่อนไข ค่าไฟฟ้าฐานของอัตราปกติเท่ากับอัตรา TOU

5. หาขนาดสูงสุดของ PV ที่ยังได้รับประโยชน์จากค่าไฟฟ้าอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU) จากเงื่อนไข ผลต่างระหว่างค่าไฟฟ้าฐานของอัตราปกติกับอัตรา TOU มากที่สุด



ภาพ 6 การจำลองวิธีการเลือกขนาดพลังงานแสงอาทิตย์ (Photovoltaic: PV) ที่เหมาะสมค่าไฟฟ้าอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU)

## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

งานวิจัยการศึกษาแนวทางการลดค่าไฟฟ้าด้วยการใช้เซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับค่าไฟฟ้าอัตราตามช่วงเวลาของการใช้สำหรับบ้านอยู่อาศัยและกิจการขนาดเล็ก มีผลการวิจัย ดังนี้

#### การจำลองผลประหยัดค่าไฟฟ้าจากการเปลี่ยนมาใช้ค่าไฟฟ้าอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU)

##### 1. ข้อมูลเบื้องต้น

การวิจัยจะเริ่มจากการสร้างแผนภูมิผลประหยัดที่อ้างอิงประกาศโครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าปี พ.ศ. 2558 [10] ที่บังคับใช้ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2558 สำหรับการวิเคราะห์โดยผู้ใช้ไฟฟ้าทุกรายสามารถเปลี่ยนมาใช้อัตรา TOU หากเปลี่ยนเป็นอัตรา TOU แล้ว ต้องการกลับไปใช้อัตราเดิมจะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละประเภท และ مبلغประมาณในการติดตั้งมิเตอร์ TOU [32] ดังตาราง 4

#### ตาราง 4 เงื่อนไขในการเปลี่ยนกลับมาใช้อัตราปกติ

ประเภท	การเปลี่ยนกลับมา เงื่อนไขในการเปลี่ยนกลับมาใช้อัตรา		งบประมาณการติดตั้งมิเตอร์ TOU (บาท)
	ใช้อัตราปกติ	ปกติ	
ประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย	ได้	ใช้อัตรา TOU มาไม่น้อยกว่า 12 เดือน	17,000 – 18,000
ประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็ก	ได้	ใช้อัตรา TOU มาไม่น้อยกว่า 12 เดือน	17,000 – 18,000

##### 2. สมการผลประหยัดค่าไฟฟ้า

การสร้างแผนภูมิผลประหยัดค่าไฟฟ้าจะเริ่มต้นโดยการสร้างสมการค่าไฟฟ้าฐานต่อหน่วยของแต่ละประเภทอัตรา โดยค่าไฟฟ้าฐานต่อหน่วยจะไม่รวมค่าบริการและค่าไฟฟ้าผันแปร (Float Time, Ft) ในที่นี้จะนิยามตัวแปรทางด้านพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า ดังตาราง 6

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าไฟฟ้าฐานต่อหน่วยและตัวแปรทางด้านพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้ามีความแตกต่างกันออกไปตามแต่ละประเภทอัตรา ดังตาราง 5

ตาราง 5 นิยามตัวแปรทางด้านพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า

สัญลักษณ์	ความสัมพันธ์	ความหมาย
$\alpha$	$\alpha = \frac{kWh_{Peak}}{kWh_{Total}}$	สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้า

หมายเหตุ:  $kWh_{Peak}$  คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้รวมทั้งเดือนในช่วงความต้องการไฟฟ้าสูง (หน่วย หรือ kWh)

$kWh_{Total}$  คือ พลังงานไฟฟ้ารวมทั้งเดือน (หน่วย หรือ kWh)

ตาราง 6 สมการความสัมพันธ์ของค่าไฟฟ้าฐานกับตัวแปรทางด้านพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า

ประเภท	อัตรา	กลุ่มผู้ใช้	สมการ
ประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย	1.1 ปกติ	1.1.1 ใช้พลังงานไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน	$UR_N(kWh_{Total}) = 2.3488 + 0.6394(1 - \frac{15}{kWh_{Total}})$
			$+ 0.2523(1 - \frac{25}{kWh_{Total}})$
			$+ 0.3832(1 - \frac{35}{kWh_{Total}})$
			$+ 0.0934(1 - \frac{100}{kWh_{Total}})$
			$+ 0.5047(1 - \frac{150}{kWh_{Total}})$
1.1.2 ใช้พลังงานไฟฟ้าเกิน 150 หน่วยต่อเดือน			$UR_N(kWh_{Total}) = 3.2484 + 0.9734(1 - \frac{150}{kWh_{Total}})$
			$+ 0.1999(1 - \frac{400}{kWh_{Total}})$
1.2 ตาม		1.2.1 แรงดัน 22-33 kV	$UR_{TOU}(\alpha) = 2.6037 + 2.5098(\alpha)$
ช่วงเวลาของ การใช้		1.2.2 แรงดันต่ำกว่า 22 kV	$UR_{TOU}(\alpha) = 2.6369 + 3.4613\alpha$

ตาราง 6 (ต่อ)

ประเภท	อัตรา	กลุ่มผู้ใช้	สมการ
ประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็ก	2.1 ปกติ	2.1.1 แรงดัน 22-33 kV	$UR_N = 3.9068$
		2.1.2 แรงดันต่ำกว่า 22 kV	$UR_N (kWh_{Total}) = 3.2484 + 0.9734(1 - \frac{150}{kWh_{Total}}) + 0.1999(1 - \frac{400}{kWh_{Total}})$
	2.2 ตาม ช่วงเวลา ของการใช้	2.2.1 แรงดัน 22-33 kV	$UR_{TOU}(\alpha) = 2.6037 + 2.5098(\alpha)$
		2.2.2 แรงดันต่ำกว่า 22 kV	$UR_{TOU}(\alpha) = 2.6369 + 3.4613\alpha$

จากตาราง 7 จะนิยามตัวแปรทางคณิตศาสตร์ ดังนี้

$$1 - \frac{a}{kWh_{Total}} = \begin{cases} 1 - \frac{a}{kWh_{Total}}, & a < kWh_{Total} \\ 0, & a \geq kWh_{Total} \end{cases} \quad (1)$$

โดย  $a$  คือ ค่าคงที่ใด ๆ ในตาราง 7;  $UR_N$  คือ ค่าไฟฟ้าฐานต่อหน่วยของการคิดค่าไฟฟ้าแบบอัตราปกติ (บาท/หน่วย);  $UR_{TOU}$  คือ ค่าไฟฟ้าฐานต่อหน่วยของการคิดค่าไฟฟ้าแบบอัตรา TOU (บาท/หน่วย)

สมการค่าไฟฟ้าฐานดังตาราง 7 สามารถนำมาสร้างสมการผลประโยชน์ค่าไฟฟ้าเมื่อเปลี่ยนอัตราค่าไฟฟ้าจากอัตราปกติมาเป็นอัตรา TOU ได้ตามสมการต่อไปนี้

กรณีเปลี่ยนจากอัตราปกติเป็น TOU สำหรับอัตราค่าไฟฟ้าประเภทที่ 1 และ 2

$$\delta = \frac{UR_N - UR_{TOU}}{UR_N} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ  $\delta$  คือ ร้อยละผลประโยชน์ค่าไฟฟ้า

### 3. แผนภูมิผลประโยชน์ค่าไฟฟ้า

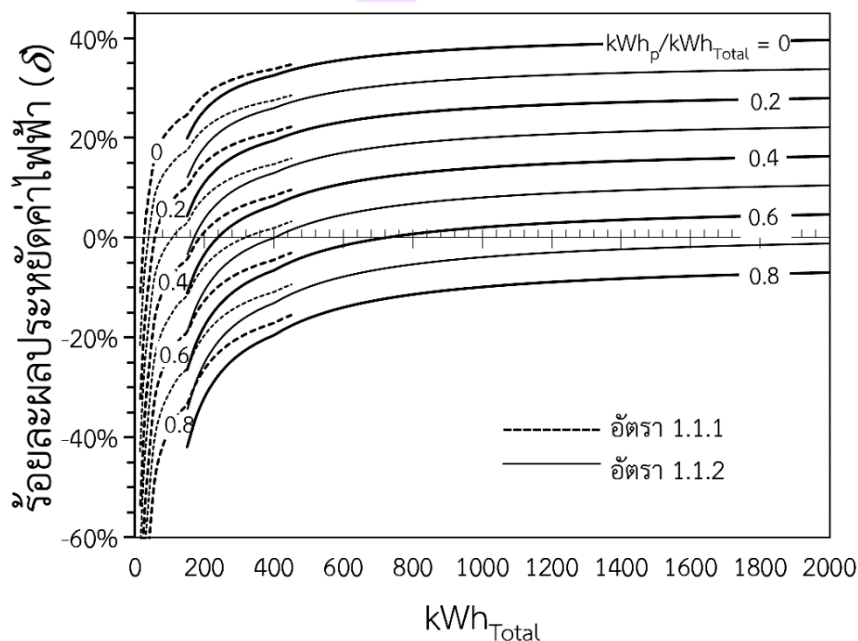
สมการร้อยละผลประโยชน์เมื่อเปลี่ยนมาใช้อัตรา TOU ตามสมการที่ 2 สามารถนำสมการเหล่านี้มาเขียนเป็นแผนภูมิผลประโยชน์ค่าไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละประเภทดังนี้

ประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย

#### 3.1 อัตรา 1.2.1 (22-33 kV) เทียบกับอัตรา 1.1.1, 1.1.2

อัตรา 1.2.1 สำหรับบ้านอยู่อาศัยที่ใช้ระบบไฟฟ้าแรงดันสูง ซึ่งอาจพบได้ไม่มาก อาจเป็นบ้านขนาดใหญ่ที่มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงมาก ในภาพ 7 แสดงให้เห็นว่า ผลประโยชน์ขึ้นอยู่กับปริมาณการใช้ไฟฟ้ารวมทั้งเดือนและสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในช่วงความ

ต้องการไฟฟ้าสูง หรือช่วง On Peak ( $kWh_p/kWh_{Total}$ ) เช่น ผู้ใช้ไฟฟ้าที่ใช้ไฟฟ้า 400 หน่วยต่อเดือน ต้องมีปริมาณการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลา On Peak ไม่เกิน 50 % ของปริมาณการใช้ไฟฟ้าทั้งหมด จึงจะสามารถประหยัดค่าไฟด้วยการเปลี่ยนมาใช้อัตรา TOU ส่วนผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีสัดส่วนการใช้ไฟฟ้ามากกว่า 0.7 นั้น จะไม่สามารถลดค่าไฟฟ้าด้วยการเปลี่ยนมาใช้อัตรา TOU



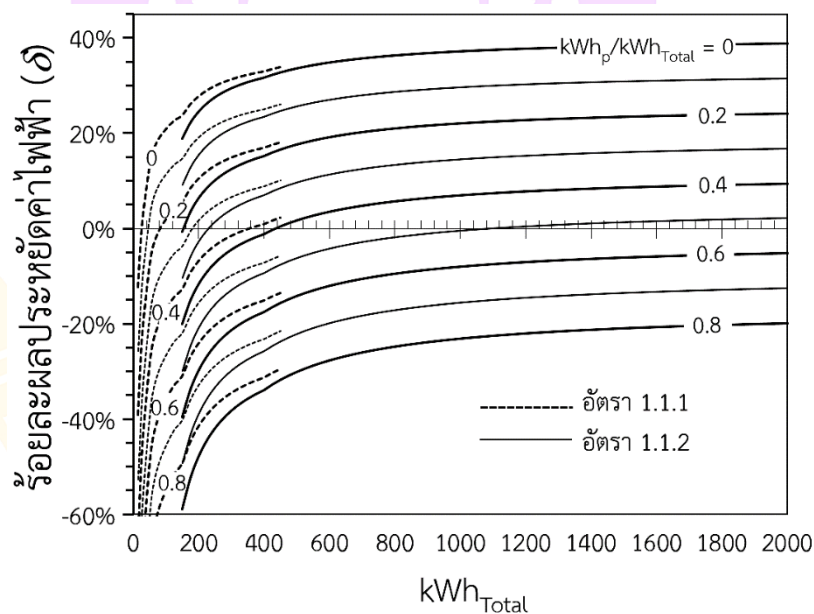
ภาพ 7 อัตรา 1.2.1 (22–33 kV) เทียบกับอัตรา 1.1.1 หรืออัตรา 1.1.2

### 3.2 อัตรา 1.2.2 (< 22 kV) เทียบกับอัตรา 1.1.1, 1.1.2

อัตรา 1.2.2 สำหรับบ้านอยู่อาศัยที่ใช้ระบบไฟฟ้าแรงดันไฟฟ้าขนาด 220–380 โวลต์ ดังนั้นปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าอาจมีค่าต่างกันไป สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าอัตรา 1.1.1 ซึ่งใช้ไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือนนั้น เมื่อพิจารณาจากภาพ 9 พบว่าผลประหยัดขึ้นอยู่กับจำนวนหน่วยไฟฟ้าทั้งหมดและค่าสัดส่วนการใช้ไฟฟ้า เช่น ผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีปริมาณการใช้ไฟฟ้า 80 หน่วยต่อเดือน ต้องมีสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในช่วงความต้องการไฟฟ้าสูงหรือ On Peak ไม่เกิน 20 % ของหน่วยไฟฟ้าทั้งหมดจึงจะสามารถลดค่าไฟฟ้าด้วยการเปลี่ยนมาใช้อัตรา TOU นอกจากนี้ยังพบว่าผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีค่าสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในช่วง On Peak ( $kWh_p/kWh_{Total}$ ) มากกว่า 0.3 นั้น จะไม่สามารถลดค่าไฟฟ้าด้วยการเปลี่ยนมาใช้อัตรา TOU

ส่วนผู้ใช้ไฟฟ้าอัตรา 1.1.2 ที่ใช้ไฟฟ้ามากกว่า 150 หน่วยต่อเดือน ผลประหยัดขึ้นอยู่กับปริมาณการใช้ไฟฟ้าทั้งหมดและค่าสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าด้วยเช่นกัน เช่น ผู้ที่ใช้ไฟฟ้าตั้งแต่ 420 หน่วยต่อเดือน จะต้องมีสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าช่วงความต้องการไฟฟ้าสูงหรือ หรือ On Peak ไม่เกิน 0.4 สามารถประหยัดค่าไฟฟ้าด้วยการเปลี่ยนมาใช้อัตรา TOU นอกจากนี้ยังพบว่าผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าช่วง On Peak มากกว่า 0.55 นั้นไม่สามารถลดค่าไฟฟ้าด้วยการเปลี่ยนมาใช้อัตรา TOU

เมื่อพิจารณาข้อมูลของ สนพ. [6] ที่ระบุว่าบ้านอยู่อาศัยที่มีการใช้ไฟฟ้าตั้งแต่ 800 หน่วยต่อเดือนขึ้นไป และมีค่าสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าช่วง On Peak เท่ากับ 0.4 สามารถประหยัดค่าไฟฟ้าได้นั้น เมื่อพิจารณาจากภาพ 8 พบว่าผู้ใช้ไฟฟ้างดกลางมีผลประหยัดค่าไฟฟ้าที่ 5.7 % ส่วนผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีปริมาณการใช้ไฟฟ้า 1,000 หน่วยต่อเดือน และมีค่าสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในช่วง On Peak น้อยกว่า 0.45 ควรเปลี่ยนมาใช้อัตรา TOU ตามคำแนะนำของ เอกกรินทร์ [30] นั้นจะมีผลประหยัดค่าไฟฟ้าประมาณ 4 %

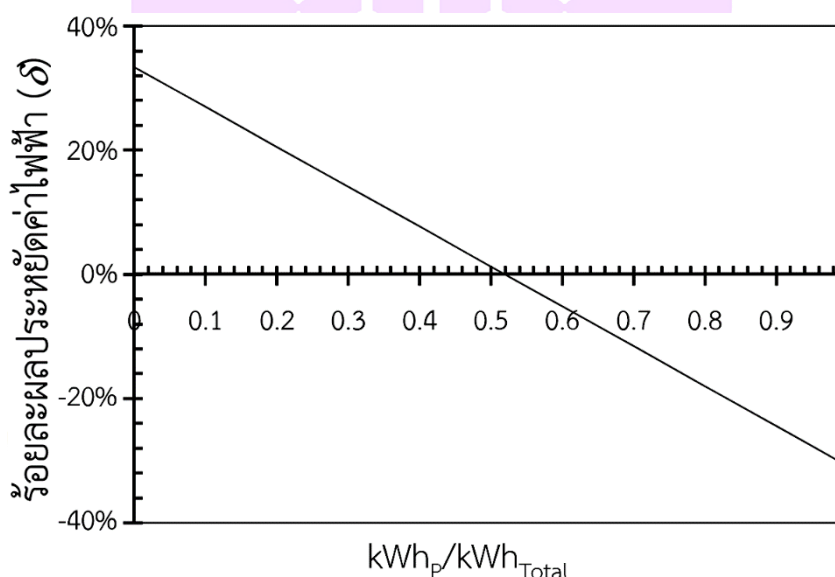


ภาพ 8 อัตรา 1.2.2 (< 22 kV) เทียบกับอัตรา 1.1.1 หรืออัตรา 1.1.2

## ประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็ก

### 3.3 อัตรา 2.2.1 เทียบกับอัตรา 2.1.1 (22–33 kV)

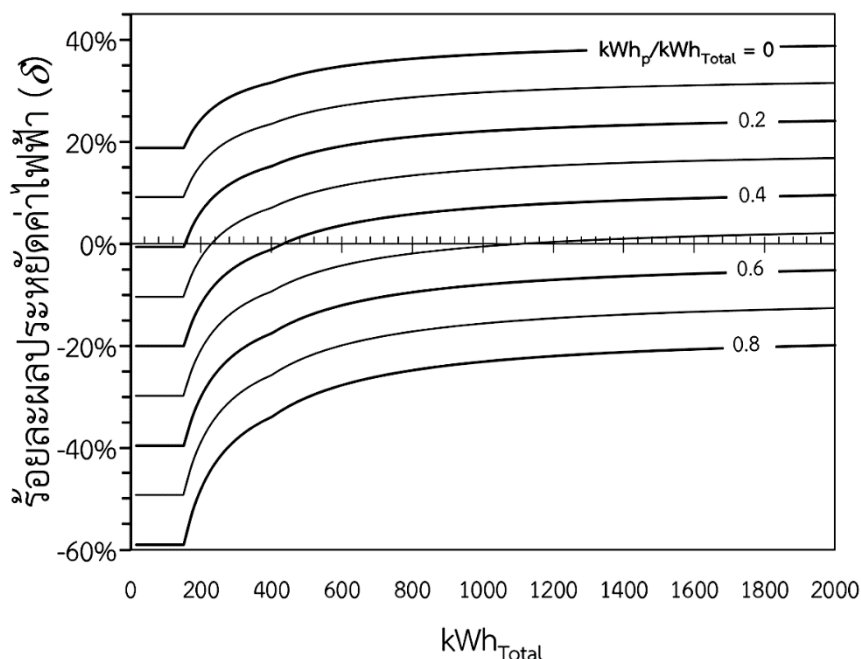
อัตรา 2.2.1 สำหรับกิจการขนาดเล็กที่ใช้ระบบไฟฟ้าแรงดันสูง จากสมการที่ 2 พบว่าผลประหยัดขึ้นอยู่กับค่าสัดส่วนการใช้ไฟฟ้า ( $kWh_p / kWh_{Total}$ ) เท่านั้น เนื่องจากเป็นอัตรา 2.2.1 เป็นอัตราที่ค่าไฟฟ้างดงที่ ไม่ขึ้นอยู่กับปริมาณหน่วยการใช้ไฟฟ้า ซึ่งผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในช่วง On Peak ไม่เกิน 0.52 จะมีค่าไฟฟ้าของอัตรา TOU ถูกกว่าอัตราปกติเสมอ นอกจากนี้ยังกล่าวได้ว่า ถ้าไม่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าหรือมีการใช้เพียงเล็กน้อยในช่วงเวลา On Peak ผู้ใช้ไฟฟ้าจะสามารถประหยัดค่าไฟฟ้าได้มากกว่า 30 % ดังภาพ 9



ภาพ 9 อัตรา 2.2.1 (22–33 kV) เทียบกับอัตรา 2.1.1

### 3.4 อัตรา 2.2.2 เทียบกับอัตรา 2.1.2 (< 22 kV)

อัตรา 2.2.2 สำหรับกิจการขนาดเล็กที่ใช้ระบบไฟฟ้าที่มีแรงดันไฟฟ้าขนาด 220–380 โวลต์ [10] ในภาพ 10 จะแสดงผลประหยัดขึ้นอยู่กับจำนวนหน่วยไฟฟ้ารวมทั้งเดือน และค่าสัดส่วนการใช้ไฟฟ้า ( $kWh_p / kWh_{Total}$ ) เช่น ผู้ใช้ไฟฟ้าที่ใช้ไฟฟ้า 420 หน่วยต่อเดือน ต้องมีหน่วยการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลา On Peak ไม่เกิน 40 % ของหน่วยไฟฟ้าทั้งหมด จึงสามารถประหยัดค่าไฟได้ด้วยการเปลี่ยนมาใช้อัตรา TOU และจากรูปพบว่าผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีค่าสัดส่วนการใช้ไฟฟ้ามากกว่า 0.52 นั้น ไม่สามารถลดค่าไฟฟ้าด้วยการเปลี่ยนมาใช้อัตรา TOU



ภาพ 10 อัตรา 2.2.2 (< 22 kV) เทียบกับอัตรา 2.1.2

4. การนำแผนภูมิผลประหยัดไปใช้งาน

ผู้ใช้ไฟฟ้าที่สนใจจะเปลี่ยนค่าไฟฟ้าจากอัตราปกติมาเป็นอัตรา TOU สามารถนำแผนภูมิผลประหยัดค่าไฟฟ้าไปใช้ในการวิเคราะห์ศักยภาพของตนเองในเบื้องต้น โดยการนำข้อมูลการใช้ไฟฟ้า หรือข้อมูลจากใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้ามาคำนวณค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้อง แล้วนำค่าดังกล่าวมา plot ลงบนแผนภูมิ ก็จะทำให้ทราบผลประหยัดที่เกิดขึ้นได้ ตัวอย่างเช่น บ้านอยู่อาศัย ตัวอย่างที่ใช้ไฟฟ้าในอัตราปกติ 1.1.2 และมีการใช้ไฟฟ้าเท่ากับ 981.9 หน่วย ดังภาพ 11 ในการวิเคราะห์ศักยภาพในการเปลี่ยนมาใช้อัตรา TOU ผู้ใช้ไฟฟ้าจะต้องทราบจำนวนหน่วยไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด และสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในช่วง On Peak เพื่อนำมา plot ลงบนแผนภูมิผลประหยัดค่าไฟฟ้า ดังนั้นจึงมีการเก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของแต่ละอุปกรณ์ ดังตาราง 8 เพื่อมาคำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้างานดังสมการ

$$kWh = \text{กำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ (kW)} \times \text{ชั่วโมงการใช้งาน} \times \text{ร้อยละการทำงาน} \quad (3)$$

รหัสเครื่องวัด	ประเภทอัตรา	1124
การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค		
หมายเลขผู้ใช้ไฟฟ้า		
ประจำเดือน	วันที่อ่านหน่วย	
เลขอ่านครั้งหลัง	เลขอ่านครั้งก่อน	499.75 492.74
หน่วยที่ใช้		981.9 หน่วย
ค่าไฟฟ้าฐาน		4,153.93 บาท
ค่า FT		-243.22 บาท
รวมเงินค่าไฟฟ้า		3,910.71 บาท
ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7%		273.75 บาท
รวมเงินทั้งสิ้น		4,184.46 บาท

ภาพ 11 ใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัยของบ้านอยู่อาศัยตัวอย่าง

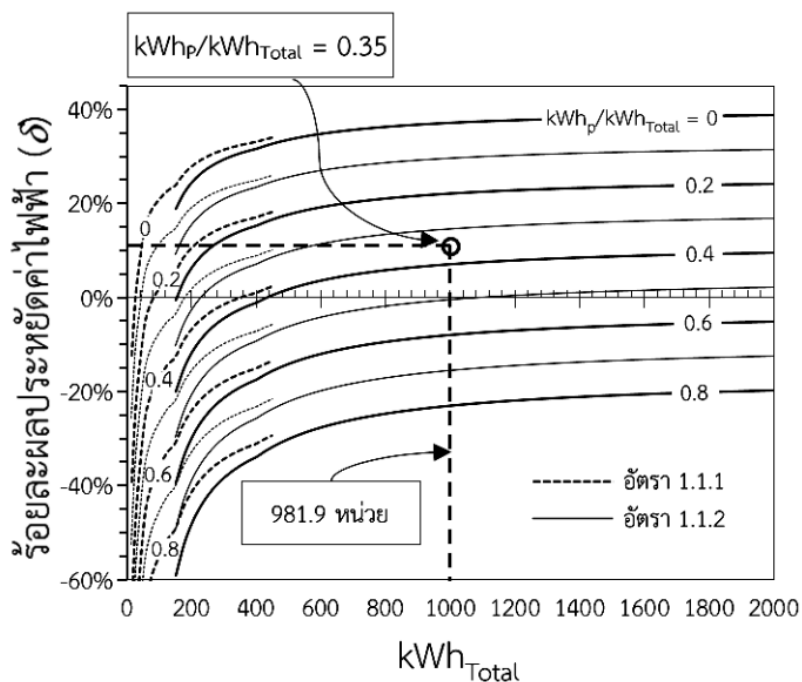
ตาราง 7 การประเมินการใช้พลังงานไฟฟ้าของแต่ละอุปกรณ์ไฟฟ้าจากบ้านอยู่อาศัยตัวอย่าง

อุปกรณ์	กำลังไฟฟ้า (Watt)	จำนวน	ชั่วโมงการใช้ไฟฟ้าต่อเดือน		ร้อยละการทำงาน	หน่วยไฟฟ้าที่ใช้ต่อเดือน	
			Peak	Off peak		kWh <sub>Peak</sub>	kWh <sub>Op</sub>
เครื่องปรับอากาศ	1,000	3	44	226	50 %	66.00	339.00
เครื่องปรับอากาศ	1,000	1	0	24	50 %	0.00	12.00
หลอดไฟ	46	7	66	54	100 %	21.25	17.39
หลอดไฟ	46	1	66	264	100 %	3.04	12.14
หลอดไฟ	36	4	44	76	100 %	6.34	10.94
โทรทัศน์	60	3	44	76	100 %	7.92	13.68
โทรทัศน์	160	1	22	8	100 %	3.52	1.28
โทรทัศน์	160	1	0	40	100 %	0.00	6.40
คอมพิวเตอร์	100	1	44	76	100 %	4.40	7.60
คอมพิวเตอร์	350	1	22	8	100 %	7.70	2.80
เครื่องซักผ้า	600	1	22	8	100 %	13.20	4.80

ตาราง 7 (ต่อ)

อุปกรณ์	กำลังไฟฟ้า (Watt)	จำนวน	ชั่วโมงการใช้ไฟฟ้าต่อเดือน		ร้อยละ การทำงาน	หน่วยไฟฟ้าที่ใช้ต่อเดือน	
			Peak	Off peak		kWh <sub>Peak</sub>	kWh <sub>OP</sub>
เตารีด	2,400	1	22	12	100 %	52.80	28.80
พัดลม	54	1	22	8	100%	1.19	0.43
เครื่องทำน้ำอุ่น	122	3	15	30	100 %	5.49	10.98
กระดิกน้ำร้อน	600	1	14	30	100 %	8.40	18.00
เตาไมโครเวฟ	800	1	20	10	100 %	16.00	8.00
เครื่องดูดฝุ่น	2,000	1	22	12	100 %	44.00	24.00
ตู้เย็น	109	2	286	434	30 %	18.70	28.38
ตู้เย็น	70	1	286	434	30 %	6.01	9.11
ไดร์เป่าผม	1,500	1	10	7.5	100 %	15.00	11.25
ปั้มน้ำอัตโนมัติ	400	1	286	434	10 %	11.44	17.36
<b>รวม</b>						<b>312.39</b>	<b>584.36</b>

การคำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งเดือน พบว่าสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh<sub>p</sub>/ kWh<sub>Total</sub>) มีค่า 0.35 เมื่อนำค่าดังกล่าว พร้อมกับค่า kWh<sub>Total</sub> มา plot ค่าลงบนแผนภูมิ ผลประหยัดค่าไฟฟ้าของอัตรา 1.2.2 พบว่าบ้านอยู่อาศัยดังกล่าวสามารถประหยัดค่าไฟฟ้าจากการเปลี่ยนมาใช้ค่าไฟฟ้าอัตรา TOU ได้ประมาณร้อยละ 12 ดังแสดงในภาพ 12 โดยคิดเป็นค่าไฟฟ้าฐานที่ลดลงประมาณ 498 บาท (ไม่รวมค่าบริการ ค่า Ft และภาษีมูลค่าเพิ่ม)



ภาพ 12 ผลประหยัดค่าไฟฟ้าของบ้านพักอาศัยตัวอย่าง

การเลือกขนาดพลังงานแสงอาทิตย์ (Photovoltaic: PV) ที่เหมาะสมสำหรับค่าไฟฟ้า  
อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU)

1. วิธีการศึกษา

งานวิจัยนี้จะเลือกพิจารณาร้านอยู่อาศัยที่มีการใช้ไฟฟ้ามากกว่า 150 กิโลวัตต์-ชั่วโมง หรือหน่วยต่อเดือน โดยจะทำการประเมินขนาดของพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้รับประโยชน์จากอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ ดังแสดงในภาพ 13



ภาพ 13 ขั้นตอนการวิเคราะห์ขนาดพลังงานแสงอาทิตย์

1. ค่าไฟฟ้าฐานต่อหน่วย (Unit Rate) ของอัตราปกติและอัตรา TOU

การวิจัยทำการจำลองค่าไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัย อัตรา 1.1.2 อ้างอิงจากประกาศอัตราค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ปี พ.ศ. 2558 [10] โดยค่าไฟฟ้าฐานของอัตราปกติและอัตรา TOU จะถูกคำนวณจากค่าไฟฟ้าฐานต่อหน่วย (Unit Rate) ของการติดตั้งพลังงานแสงอาทิตย์

ค่าไฟฟ้าฐานต่อหน่วย (Unit Rate) ของอัตราปกติและอัตรา TOU จะถูกคำนวณจากสมการที่ (4) และ (5)

$$UR_N = 3.2484 + 0.9734 \left( 1 - \frac{150}{kWh_T} \right) + 0.1999 \left( 1 - \frac{400}{kWh_T} \right) \quad (4)$$

เมื่อ

$$1 - \frac{a}{kWh_T} = \begin{cases} 1 - \frac{a}{kWh_T}, & a < kWh_T \\ 0, & a \geq kWh_T \end{cases}$$

$$UR_{TOU} = 2.6369 + 3.163\alpha \quad (5)$$

โดยที่

$UR_N$  = ค่าไฟฟ้าฐานต่อหน่วย (Unit Rate) ของอัตราปกติ (บาทต่อหน่วย)

$UR_{TOU}$  = ค่าไฟฟ้าฐานต่อหน่วย (Unit Rate) ของอัตรา TOU (บาทต่อหน่วย)

## 2. การประเมินการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบพลังงานแสงอาทิตย์

การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบพลังงานแสงอาทิตย์ต่อเดือน สามารถคำนวณจากสมการต่อไปนี้ [33]

$$kWh_{PV} = I \times EF \times 30days \times PV \quad (6)$$

โดยที่  $kWh_{PV}$  = พลังงานไฟฟ้าจากระบบพลังงานแสงอาทิตย์

$I$  = Insolation (kWh/m<sup>2</sup>/day)

$EF$  = An energy yield derating factor

$PV$  = ขนาดของพลังงานแสงอาทิตย์ (kW<sub>p</sub>)

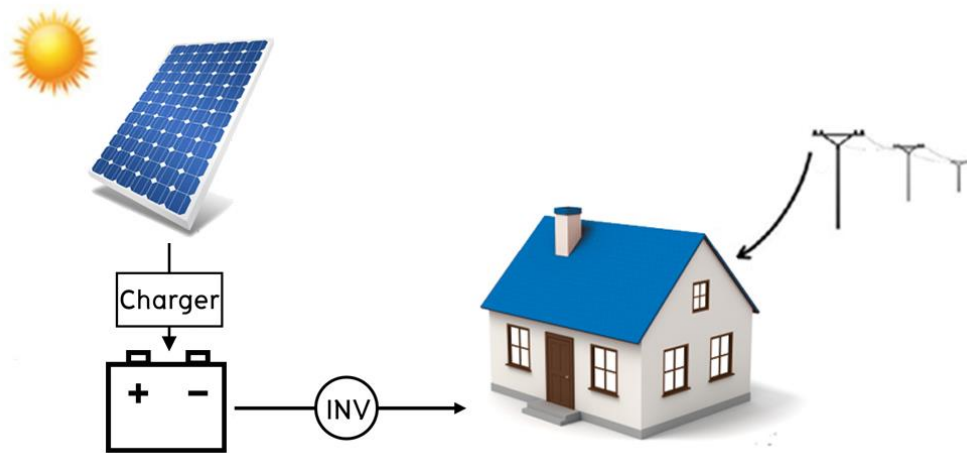
Grenzone (Thailand) แนะนำว่า Energy yield derating factor เท่ากับ 0.7 [33] และ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานได้กำหนดปริมาณแสงแดดที่ส่องลงบนพื้นที่โลกโดยเฉลี่ย (Solar Insolation) ในจังหวัดพะเยา 4.67 kWh/m<sup>2</sup>/day [34]

ดังนั้น

$$kWh_{PV} = 98 \cdot PV \quad (7)$$

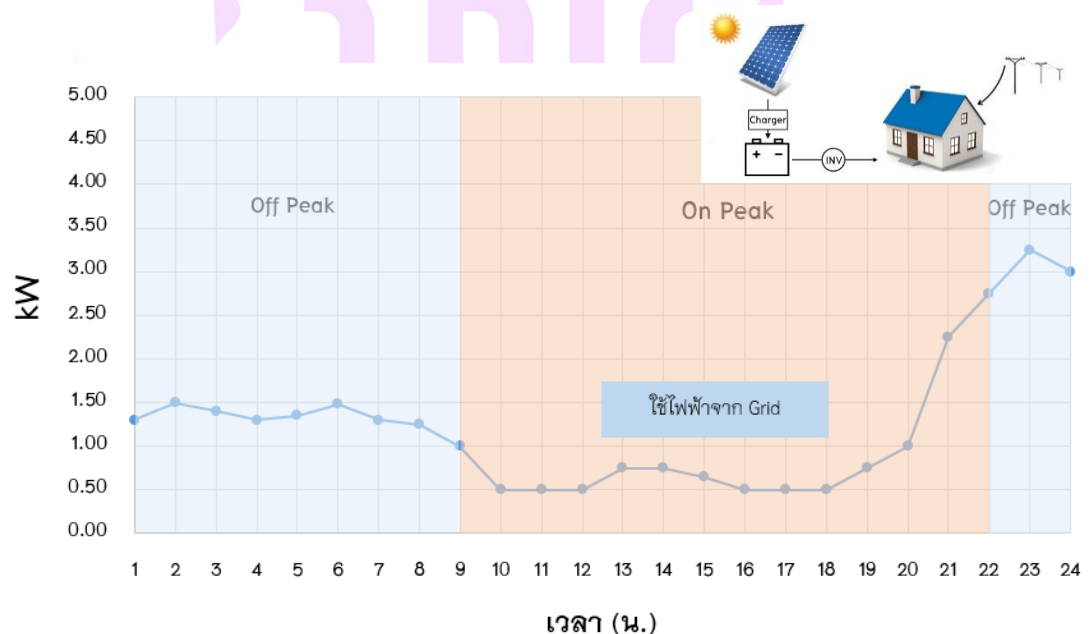
## 3. การประเมินค่าไฟฟ้าฐานเมื่อทำการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์

เมื่อทำการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์แล้ว จะทำให้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในช่วง On Peak และปริมาณการใช้ไฟฟ้าทั้งหมดทั้งหมด (kWh<sub>T</sub>) ลดลง ยกตัวอย่างเช่น บ้านตัวอย่างหลังหนึ่งที่ติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบไฮบริด (Hybrid) และมีแบตเตอรี่สำหรับเก็บพลังงาน เพื่อใช้งานในช่วงเวลาที่ต้องการ ดังแสดงในภาพ 14

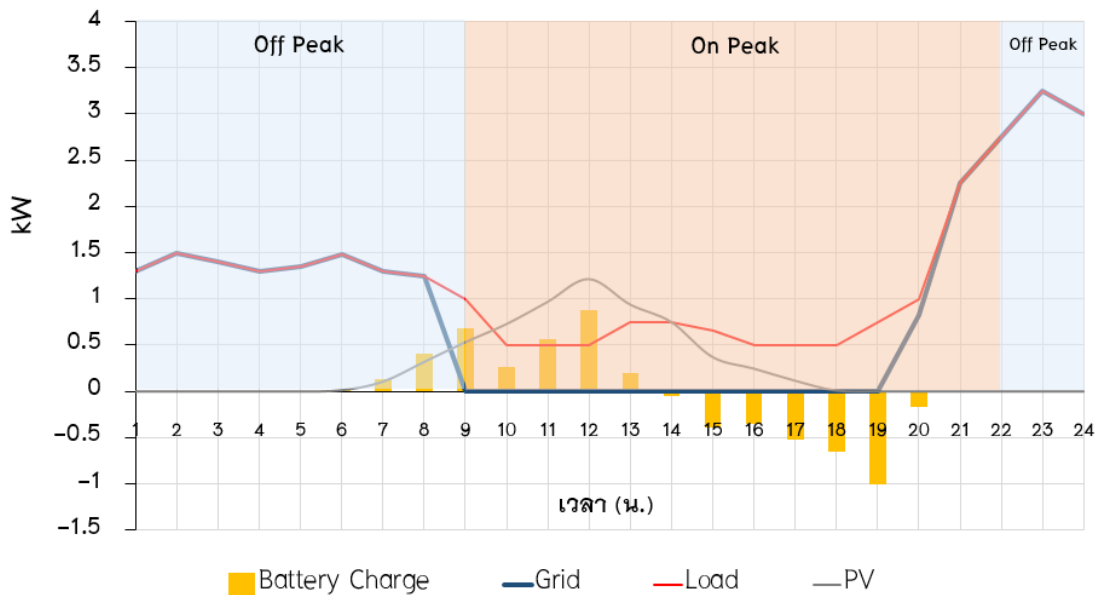


ภาพ 14 บ้านตัวอย่างที่ติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบไฮบริด (Hybrid)

จากภาพ 14 หากพิจารณาการใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน โดยกำหนดให้เป็นการใช้ไฟฟ้าจากสายส่งทั้งหมด จะได้ Load Profile ดังแสดงในภาพ 15 ซึ่งจะเห็นว่ามีการใช้ไฟฟ้าทั้งในช่วง On Peak และ Off Peak ทั้งหมด 11.9 kWh



ภาพ 15 Load Profile ของบ้านตัวอย่างเมื่อยังไม่ใช้พลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์



ภาพ 16 แสดงการทำงานของแบตเตอรี่เทียบกับการใช้ไฟฟ้าของบ้านตัวอย่าง

จากภาพ 16 เส้นกราฟ Load แสดงถึงการใช้พลังงานไฟฟ้าจริงตามช่วงเวลาของบ้านตัวอย่าง โดยในช่วงเวลา Off Peak จะใช้ไฟฟ้าจากสายส่งหลักซึ่งเป็นช่วงที่มีค่าไฟฟ้าถูก เมื่อจำลองการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 1,000 วัตต์ สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ในช่วงเช้า ระบบจะทำการผลิตไฟฟ้าแล้วส่งไปเก็บกักพลังงานไว้ในแบตเตอรี่ตามกราฟแท่ง Battery Charge จากกราฟจะเห็นว่าในช่วงที่เวลาประมาณ 10.00 – 14.00 น. จะมีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์มากกว่าการใช้ไฟฟ้า จึงทำให้มีพลังงานไฟฟ้าเหลือและถูกส่งไปเก็บไว้ในแบตเตอรี่ ส่วนช่วงเวลา 14.00 น. เป็นต้นไป เป็นช่วงที่มีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์น้อยกว่าการใช้ไฟฟ้าในบ้าน จึงมีการดึงพลังงานจากแบตเตอรี่มาใช้จนกว่าพลังงานจากแบตเตอรี่จะไม่เพียงพอต่อการใช้งาน จึงกลับไปใช้พลังงานไฟฟ้าจากสายส่งหลักอีกครั้ง

จากข้อมูลที่กล่าวมาทั้งหมดจะเห็นว่า เมื่อทำการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์จะทำให้ปริมาณหน่วยการใช้ไฟฟ้าทั้งหมด (kWh<sub>r</sub>) จากสายส่งหลัก (Grid) ลดลง ซึ่งจะทำให้ค่าไฟฟ้าฐานที่ต้องชำระให้การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคลดลงด้วย โดยจะสามารถคำนวณปริมาณการใช้ไฟฟ้าหลังจากติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์ดังสมการต่อไปนี้ (งานวิจัยนี้จะไม่นำผลของพลังงานสูญเสียจากการชาร์จและดิสชาร์จของแบตเตอรี่มาพิจารณา)

$$kWh_{T,NE} = (kWh_{T,E} - 98 \cdot PV) \quad (8)$$

จากการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์ จะทำให้สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงความต้องการไฟฟ้าสูงหรือ On Peak เปลี่ยนแปลง โดยเงื่อนไขของการวิจัยที่จะพิจารณาพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบพลังงานแสงอาทิตย์ จะมีการกักเก็บพลังงานไว้ให้เพียงพอต่อการใช้งานสำหรับช่วง On Peak สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงความต้องการไฟฟ้าสูงที่ได้จะเป็นดังสมการ 9

$$\alpha_{NE} = \frac{\alpha_E \cdot kWh_{T,E} - 98 \cdot PV}{kWh_{T,E} - 98 \cdot PV} \quad (9)$$

จากสมการ (4) และ (5) สามารถนำมาคิดค่าไฟฟ้าของแต่ละอัตราได้ดังนี้

$$EC_N = kWh_{T,NE} \cdot UR_N \quad (10)$$

$$EC_{TOU} = kWh_{T,NE} \cdot UR_{TOU} \quad (11)$$

เมื่อ:  $EC_N$  = ค่าไฟฟ้าฐานของอัตราปกติ (บาท)

$EC_{TOU}$  = ค่าไฟฟ้าฐานของอัตรา TOU (บาท)

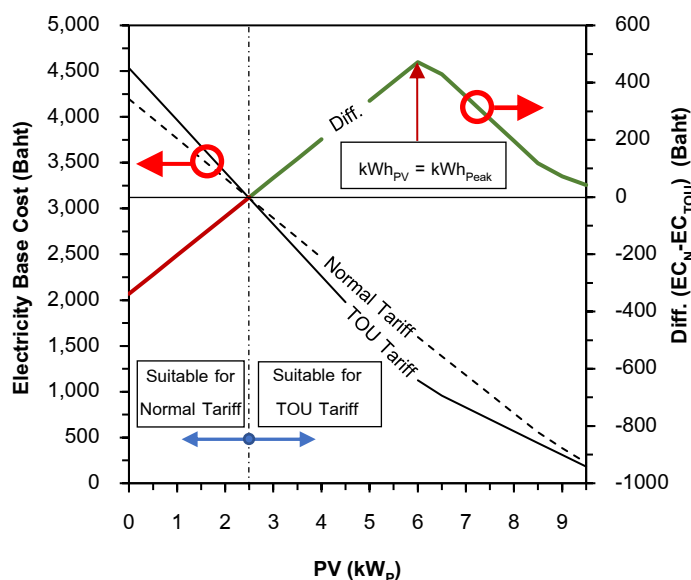
เมื่อทำการแทนค่าสมการที่ (4) - (9) ในสมการที่ (10) และ (11), ค่าไฟฟ้าฐานของแต่ละอัตราได้ดังนี้

$$EC_N = (kWh_{T,E} - 98 \cdot PV) \times \left[ 3.2484 + 0.9734 \left( 1 - \frac{150}{kWh_{T,E} - 98 \cdot PV} \right) + 0.1999 \left( 1 - \frac{400}{kWh_{T,E} - 98 \cdot PV} \right) \right] \quad (12)$$

$$EC_{TOU} = (kWh_{T,E} - 98 \cdot PV) \times \left[ 2.6369 + 3.1613 \left( \frac{\alpha_E \cdot kWh_{T,E} - 98 \cdot PV}{kWh_{T,E} - 98 \cdot PV} \right) \right] \quad (13)$$

จากสมการ (12) และ (13) สามารถจำลองการพิจารณาการติดตั้งพลังงานแสงอาทิตย์จากบ้านอยู่อาศัยที่ใช้ไฟฟ้าประมาณ 1,000 หน่วยต่อเดือน และมีสัดส่วนการใช้

ไฟฟ้าในช่วงความต้องการไฟฟ้าสูงเท่ากับ 0.6 และนำมาสร้างแผนภูมิสำหรับเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าฐานของทั้งสองอัตรา ดังภาพ 17



ภาพ 17 เปรียบเทียบค่าไฟฟ้าอัตราปกติกับอัตรา TOU ของบ้านอยู่อาศัยที่ใช้ไฟฟ้า

1,000 kWh และ  $\alpha_E = 0.6$

จากภาพ 17 แสดงให้เห็นว่าการติดตั้งพลังงานแสงอาทิตย์ไม่เกิน 2.5 kW<sub>p</sub> ค่าไฟฟ้าฐานอัตราปกติจะถูกกว่าอัตรา TOU แต่เมื่อขนาดสูงกว่า 2.5 kW<sub>p</sub> จะเริ่มทำให้ค่าไฟฟ้าฐานของอัตรา TOU ถูกกว่าของอัตราปกติ จนกระทั่งถึงขนาด 6 kW<sub>p</sub> ที่ทำให้ส่วนต่างของค่าไฟฟ้าเริ่มลดลง เนื่องจากการติดตั้งที่ขนาดเกิน 6 kW<sub>p</sub> จะทำให้สัดส่วนของการใช้ไฟฟ้าในช่วงความต้องการไฟฟ้าสูงเท่ากับศูนย์ และทำให้ค่าไฟฟ้าฐานของอัตรา TOU คงที่ เท่ากับ 2.6369 บาทต่อหน่วย

#### 4. การจำลองการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์

##### 4.1 การหาขนาดพลังงานแสงอาทิตย์ขั้นต่ำ

จากภาพ 18 ขนาดของพลังงานแสงอาทิตย์ขั้นต่ำที่ควรติดตั้งเพื่อให้ได้รับประโยชน์จากอัตรา TOU คือ จุดแรกที่ทำให้ค่าไฟฟ้าฐานของอัตรา TOU เท่ากับอัตราปกติ โดยกำหนดได้ดังสมการ

$$EC_N = EC_{TOU} \quad (14)$$

เมื่อแทนค่าลงในสมการที่ (12) และ (13) ลงในสมการ (14) จะได้

$$3.2484 + 0.9734 \left( 1 - \frac{150}{kWh_{T,E} - 98 \cdot PV} \right) + 0.1999 \left( 1 - \frac{400}{kWh_{T,E} - 98 \cdot PV} \right) = 2.6369 + 3.1613 \left( \frac{\alpha_E \cdot kWh_{T,E} - 98 \cdot PV}{kWh_{T,E} - 98 \cdot PV} \right) \quad (15)$$

โดยที่

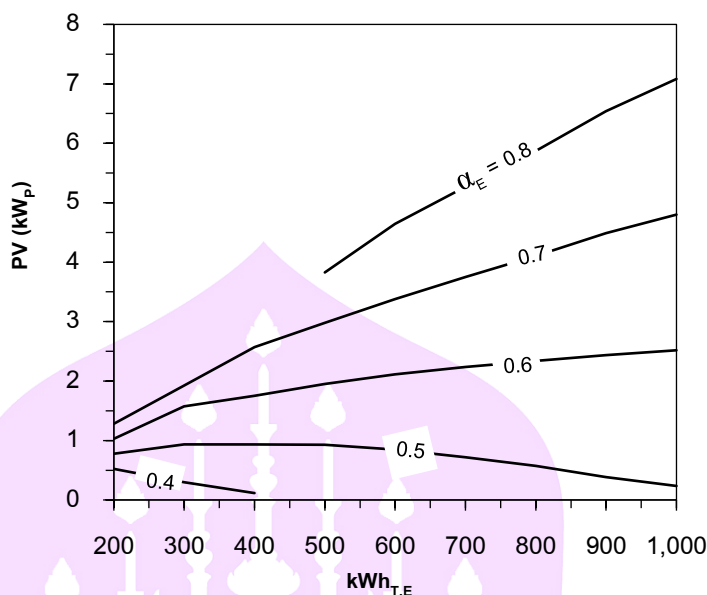
$$1 - \frac{a}{kWh_{T,E}} = \begin{cases} 1 - \frac{a}{kWh_{T,E}}, & a < kWh_T \\ 0, & a \geq kWh_T \end{cases}$$

สมการ 15 นำมาเขียนเป็นขนาดของพลังงานแสงอาทิตย์ โดยจะขึ้นอยู่กับปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดก่อนติดตั้ง PV ( $kWh_{T,E}$ ) และสัดส่วนของการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงความต้องการไฟฟ้าสูงของก่อนติดตั้ง PV ( $\alpha_E$ ) ดังแสดงในตาราง 9

ตาราง 8 สมการสำหรับการหาขนาดพลังงานแสงอาทิตย์ขั้นต่ำ

สมการ	เงื่อนไข
$PV = (0.0127\alpha_E - 0.0024) \cdot kWh_{T,E} \quad (16)$	เมื่อ $kWh_{T,E} - 98 \cdot PV < 150$
$PV = (0.0205\alpha_E - 0.0103) \cdot kWh_{T,E} + 0.9709 \quad (17)$	เมื่อ $150 < kWh_{T,E} - 98 \cdot PV < 400$
$PV = (0.0234\alpha_E - 0.0132) \cdot kWh_{T,E} + 1.6748 \quad (18)$	เมื่อ $kWh_{T,E} - 98 \cdot PV > 400$

จากสมการ 16-18 สามารถนำมาสร้างแผนภูมิสำหรับการติดตั้งพลังงานแสงอาทิตย์ขั้นต่ำที่ได้รับประโยชน์จากอัตรา TOU ได้ดังภาพ 18



ภาพ 18 การติดตั้งพลังงานแสงอาทิตย์ขั้นต่ำร่วมกับการใช้อัตรา TOU  
ของบ้านอยู่อาศัย

ภาพ 18 แสดงให้เห็นถึงพลังงานแสงอาทิตย์ขั้นต่ำที่ขึ้นอยู่กับ kWh<sub>T,E</sub> และ  $\alpha_E$  ที่จะทำให้ได้รับประโยชน์จากอัตรา TOU ตัวอย่างเช่น ผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าก่อนติดตั้ง PV เท่ากับ 400 หน่วยต่อเดือน และมีสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงความต้องการไฟฟ้าสูงในปัจจุบันเท่ากับ 0.7 ถ้าหากต้องการติดตั้ง PV ร่วมกับการเลือกใช้อัตรา TOU ควรเริ่มติดตั้งที่ขนาดตั้งแต่ 2.5 kW<sub>p</sub> ขึ้นไป นอกจากนี้ในภาพ 18 ยังทำให้ทราบว่า ผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าก่อนติดตั้ง PV เท่ากับ 500 หน่วยต่อเดือน และมีสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงในปัจจุบันเท่ากับ 0.8 จะไม่ได้รับประโยชน์จากการเลือกใช้อัตรา TOU เมื่อทำการติดตั้ง PV

#### 4.2 การหาขนาดพลังงานแสงอาทิตย์สูงสุด

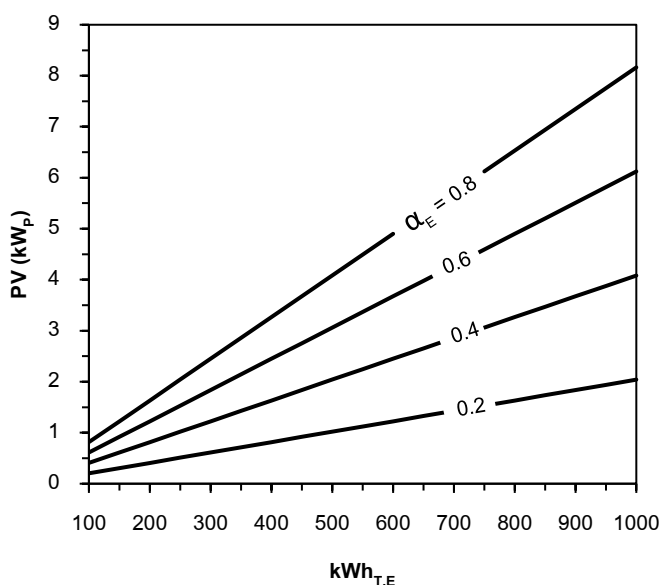
การประเมินขนาดการติดตั้งสูงสุดของพลังงานแสงอาทิตย์ที่จะได้รับประโยชน์จากอัตรา TOU จากภาพ 17 กำหนดให้จุดที่ผลต่างระหว่างค่าไฟฟ้าอัตรากับค่าไฟฟ้าอัตรา TOU มากที่สุดจะเป็นจุดที่ทำให้ขนาดของการติดตั้งพลังงานแสงอาทิตย์สูงสุด ซึ่งจุดนี้จะเป็นจุดที่ทำให้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากพลังงานแสงอาทิตย์ (kWh<sub>PV</sub>) เท่ากับพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในช่วงความต้องการไฟฟ้าสูง และสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$kWh_{PV} = kWh_{Peak} \quad (19)$$

แทนค่าสมการที่ (19) ลงในสมการที่ (15) จะได้

$$PV = \frac{kWh_{T,E} \times \alpha_E}{98} \quad (20)$$

สมการที่ได้สามารถนำไปสร้างแผนภูมิเพื่อพิจารณาขนาดสูงสุดของการติดตั้งสูงสุดของพลังงานแสงอาทิตย์ที่จะได้รับประโยชน์จากอัตรา TOU ที่มาจากการเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าที่มีความแตกต่างกันของอัตราปกติกับอัตรา TOU ดังภาพ 19



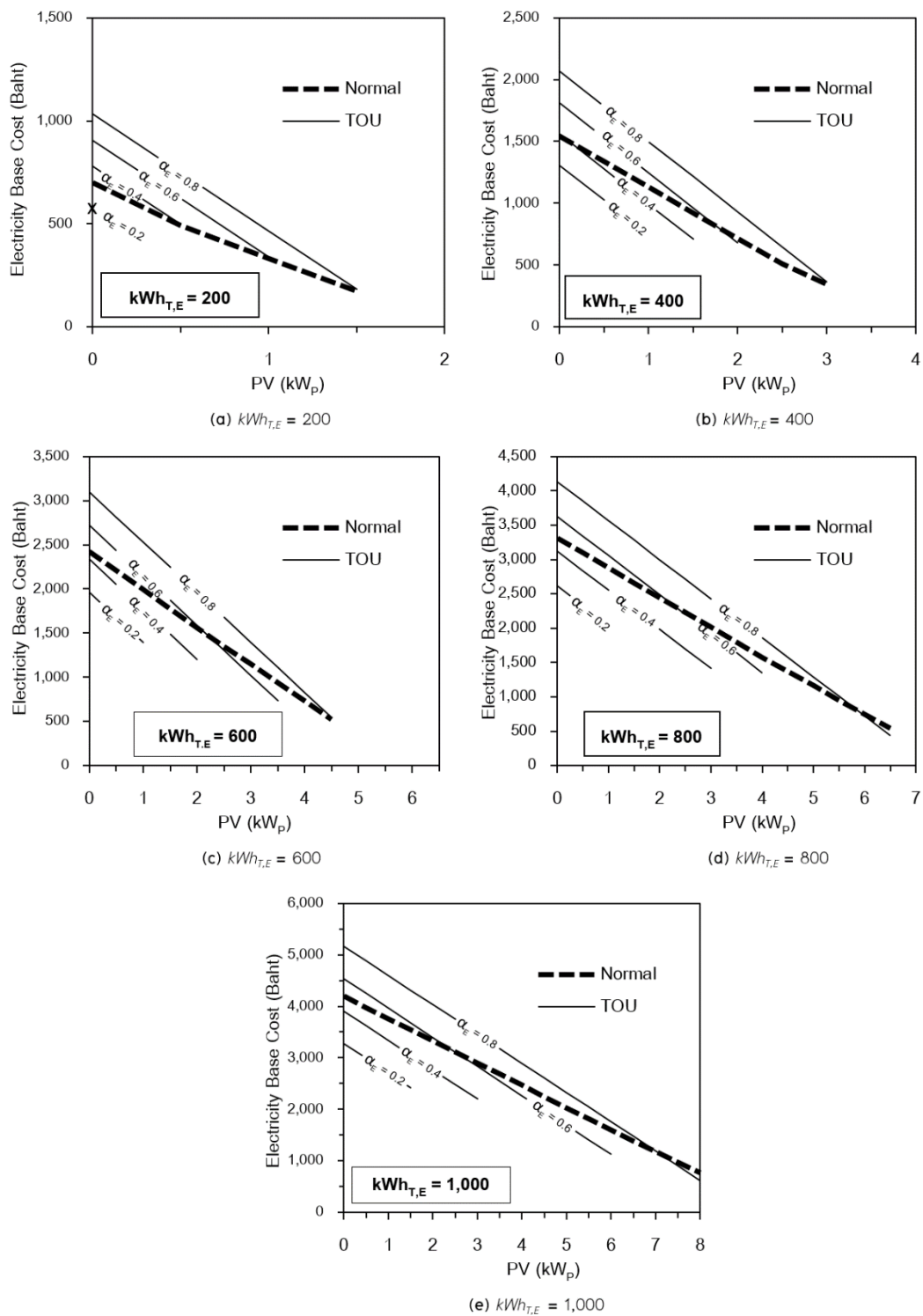
ภาพ 19 การติดตั้งพลังงานแสงอาทิตย์สูงสุดรวมกับการใช้อัตรา TOU  
ของบ้านอยู่อาศัย

ภาพ 19 แสดงถึงขนาดการติดตั้งสูงสุดของพลังงานแสงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับปริมาณการใช้ไฟฟ้าทั้งหมด (kWh<sub>T,E</sub>) และสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในช่วงความต้องการไฟฟ้าสูง (α<sub>E</sub>) ตัวอย่างเช่น ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัยที่มีการใช้ไฟฟ้า 500 หน่วยต่อเดือน และมีสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในช่วงความต้องการไฟฟ้าสูงเท่ากับ 0.4 จะต้องติดตั้งพลังงานแสงอาทิตย์สูงสุด 2 kW<sub>p</sub> นอกจากนี้แผนภูมียังแสดงให้เห็นว่าขนาดติดตั้งพลังงานแสงอาทิตย์สูงสุดจะสูงขึ้นตามปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อเดือนและสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในช่วงความต้องการไฟฟ้าสูงที่สูงขึ้น

#### 4.3 ค่าไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยที่มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าจำนวนต่าง ๆ

จากภาพ 17 ที่แสดงถึงขนาดต่ำสุดของการติดตั้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่จะได้รับประโยชน์จากอัตรา TOU หากมีการติดตั้งขนาดใหญ่กว่านั้น จะทำให้ผลต่างของค่าไฟฟ้าที่อัตราปกติสูงกว่าอัตรา TOU สูงขึ้นตามหรือได้รับผลประโยชน์มากขึ้น ในหัวข้อนี้จึงทำการเปรียบเทียบผลต่างของการใช้พลังงานไฟฟ้าที่แตกต่างกัน จากสมการที่ (10) และ (11) โดยการสร้างแผนภูมิเปรียบเทียบสำหรับบ้านอยู่อาศัยซึ่งมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า 200, 400, 600, 800 และ 1,000 หน่วยต่อเดือน ดังแสดงในภาพ 20 ที่เปรียบเทียบค่าไฟฟ้าฐานของอัตราปกติกับอัตรา TOU เมื่อทำการติดตั้งพลังงานแสงอาทิตย์ จากการพิจารณาปริมาณการใช้ไฟฟ้าทั้งหมด ( $kWh_{T,E}$ ) และสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในช่วงความต้องการไฟฟ้าสูง ( $\alpha_E$ ) โดยมี 5 แผนภูมิสำหรับผู้บริโภคไฟฟ้าที่จะนำไปวิเคราะห์ค่าไฟฟ้าฐานในการติดตั้งพลังงานแสงอาทิตย์แต่ละขนาด ตัวอย่างเช่น ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัยที่มีปริมาณการใช้ไฟฟ้า 400 หน่วยต่อเดือนและสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในช่วงความต้องการไฟฟ้าสูงเท่ากับ 0.4 ซึ่งปกติถ้าไม่มีการติดตั้งพลังงานแสงอาทิตย์จะเสียค่าไฟฟ้าเดือนละ 1,500 บาท ถ้าหากทำการติดตั้งพลังงานแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว จะเสียค่าไฟฟ้าเดือนละ 1,250 บาทต่อเดือน แต่เมื่อทำการติดตั้งพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 1 kW<sub>p</sub> รวมกับการใช้ไฟฟ้าอัตรา TOU การใช้ไฟฟ้าอัตรา TOU จะเสียค่าไฟฟ้าเดือนละ 1,000 บาทต่อเดือน ดังแสดงในภาพ 20 (b)





ภาพ 20 ค่าไฟฟ้าอัตราปกติกับอัตรา TOU ของบ้านอยู่อาศัย

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย

การศึกษาเรื่องแนวทางการลดค่าไฟฟ้าแนวทางการลดค่าไฟฟ้าด้วยการใช้เซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับค่าไฟฟ้าอัตราตามช่วงเวลาของการใช้สำหรับบ้านอยู่อาศัยและกิจการขนาดเล็ก สามารถสรุปผลการดำเนินการตามขั้นตอนการวิจัยได้ดังนี้

#### การจำลองผลประหยัดค่าไฟฟ้าจากการเปลี่ยนมาใช้ค่าไฟฟ้าอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU)

การนำข้อมูลโครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าปี พ.ศ. 2558 ตามประกาศของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมาจัดทำแผนภูมิผลประหยัดค่าไฟฟ้าจากการเปลี่ยนค่าไฟฟ้าจากอัตราปกติ มาเป็นอัตรา TOU พบว่าผลประหยัดค่าไฟฟ้าขึ้นกับตัวแปรด้านพฤติกรรมของการใช้ไฟฟ้าที่แตกต่างกันตามประเภทผู้ใช้ไฟฟ้า ซึ่งผู้ใช้ไฟฟ้าที่ต้องการเปลี่ยนประเภทผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของตนเอง แล้วนำมาพิจารณาในแผนภูมิ ก็จะทำให้ทราบความเป็นไปได้ถึงผลประหยัดค่าไฟฟ้า เมื่อเปลี่ยนจากค่าไฟฟ้าอัตราปกติมาเป็นค่าไฟฟ้าอัตรา TOU นอกจากนี้ยังมีข้อสังเกตที่สำคัญที่ผู้ใช้ไฟฟ้าจะสามารถเปลี่ยนมาใช้อัตรา TOU คือ

1. ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัย อัตรา 1.1.1 และ 1.1.2 ที่แรงดันไฟฟ้า 22-33 kV จะต้องมีสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลา On Peak ไม่เกิน 0.7
2. ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัย อัตรา 1.1.1 และ 1.1.2 ที่แรงดันไฟฟ้าต่ำกว่า 22 kV และผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทกิจการขนาดเล็ก จะต้องมีสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลา On Peak ไม่เกิน 0.52

#### การเลือกขนาดพลังงานแสงอาทิตย์ (Photovoltaic: PV) ที่เหมาะสมสำหรับค่าไฟฟ้าอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU)

การจำลองเพื่อหาขนาดต่ำสุดและสูงสุดของพลังงานแสงอาทิตย์ที่จะได้รับประโยชน์จากอัตรา TOU สำหรับบ้านอยู่อาศัยที่ใช้ปริมาณไฟฟ้าจำนวน 150 หน่วยต่อเดือนและมีแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่า 22 kV ที่พิจารณาการติดตั้งพลังงานแสงอาทิตย์ในพื้นที่จังหวัดพะเยาและ

กำหนดการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ที่ใช้สำหรับช่วงความต้องการไฟฟ้าสูง สามารถสรุปได้ดังนี้

1. แผนภูมิการหาขนาดต่ำสุดและสูงสุดของพลังงานแสงอาทิตย์ ทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถเลือกขนาดพลังงานแสงอาทิตย์ที่เหมาะสมจากแผนภูมิลำนี้
2. ขนาดต่ำสุดของพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งขึ้นอยู่กับปริมาณการใช้ไฟฟ้าก่อนติดตั้ง PV ( $kWh_{T,E}$ ) และสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงความต้องการไฟฟ้าสูง ( $\alpha_E$ ) ซึ่งผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่ำกว่า 500 หน่วยต่อเดือนและสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงความต้องการไฟฟ้าสูงมากกว่า 0.8 จะไม่สามารถได้รับประโยชน์จากอัตรา TOU
3. ขนาดสูงสุดของพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งขึ้นอยู่กับปริมาณการใช้ไฟฟ้าก่อนติดตั้ง PV ( $kWh_{T,E}$ ) และสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงความต้องการไฟฟ้าสูง ( $\alpha_E$ ) ถ้าหากปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อเดือนและสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงความต้องการไฟฟ้าสูงสูงขึ้น จะทำให้ขนาดพลังงานแสงอาทิตย์สูงสุดที่สามารถติดตั้งเพื่อให้ได้รับประโยชน์จากอัตรา TOU สูงขึ้นตาม

### ข้อเสนอแนะของการวิจัย

จากงานวิจัยนี้มีข้อจำกัดบางประการ จึงจะต้องพิจารณาสิ่งต่าง ๆ สำหรับการทำวิจัยในอนาคต ดังหัวข้อต่อไปนี้

1. การวิเคราะห์ทางการลงทุนของการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อนำไปสู่การคิดระยะเวลาคืนทุนของการลงทุนเมื่อเทียบกับผลประหยัดที่เกิดขึ้น
2. รายละเอียดของอุปกรณ์อื่น ๆ สำหรับการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์ เช่น ระบบกักเก็บพลังงาน (Battery) ตัวควบคุมการชาร์จ (Charge Controller) เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter) รวมถึงพลังงานที่สูญเสียในระบบกักเก็บพลังงาน
3. การพิจารณาปัจจัยอื่น ๆ ในการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์ เช่น พื้นที่หลังคาของบ้านอยู่อาศัย เงื่อนไขการซื้อขายระบบพลังงานแสงอาทิตย์ของบริษัทผู้ผลิตหรือผู้ให้บริการ เป็นต้น
4. การซื้อขายไฟฟัาระหว่างผู้ใช้ไฟฟ้ากับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ในกรณีที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าและมีระบบกักเก็บพลังงานที่เพียงพอต่อการซื้อขาย

## บรรณานุกรม

- [1] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2560). **ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด**. สืบค้นเมื่อ 1 ตุลาคม 2562, จาก [https://www.egat.co.th/index.php?option=com\\_content&view=article&id=348&Itemid=116](https://www.egat.co.th/index.php?option=com_content&view=article&id=348&Itemid=116).
- [2] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (2558). **แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2558 – 2579 (PDP2015)**. สืบค้นเมื่อ 2 กุมภาพันธ์ 2560, จาก <http://www.eppo.go.th/index.php/th/plan-policy/tieb/pdp>.
- [3] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (2558). **แผนแม่บทการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของประเทศไทย พ.ศ. 2558 – 2579**. สืบค้นเมื่อ 2 กุมภาพันธ์ 2560, จาก <http://www.eppo.go.th/index.php/th/electricity/smartgrid/mainplan>.
- [4] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (2558). **แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558 – 2579 (AEDP2015)**. สืบค้นเมื่อ 2 กุมภาพันธ์ 2560, จาก <http://www.eppo.go.th/index.php/th/plan-policy/tieb/aedp>.
- [5] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (2559). **แผนปฏิบัติการอนุรักษ์พลังงาน 5 ปี (พ.ศ. 2560–2564)**. สืบค้นเมื่อ 2 กุมภาพันธ์ 2560, จาก <http://www.eppo.go.th/index.php/th/plan-policy/tieb/eep>.
- [6] ศูนย์ข้อมูลและข่าวสืบสวนเพื่อสิทธิพลเมือง. (2559). **ค่าไฟฟ้าอัตรา TOU ลดวิกฤตช่วงพีคได้ ทำไมการไฟฟ้าฯ ชอนไว้ได้พรม ?**. สืบค้นเมื่อ 2 กุมภาพันธ์ 2560, จาก <http://www.tcijthai.com/news/2016/10/scoop/6294>
- [7] นพรัตน์ เกตุขาว และวิชญ์พล พักแก้ว. (2562). **การจัดการใช้ไฟฟ้าในกลุ่มตัวอย่างศึกษาสำหรับโรงสีข้าว โรงแรม และโรงน้ำแข็ง**. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 29(4), 1–10.
- [8] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (2559). **ระบบบริหารจัดการพลังงาน (Energy Management System: EMS)**. สืบค้นเมื่อ 2 กุมภาพันธ์ 2560, จาก <https://thai-smartgrid.com/เกี่ยวกับสมาร์ทกริด/tech-basic-related-smartgrid/ems/#>
- [9] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (2559). **สมาร์ทกริดคืออะไร**. สืบค้นเมื่อ 2 กุมภาพันธ์ 2560, จาก <https://thai-smartgrid.com/เกี่ยวกับสมาร์ทกริด/สมาร์ทกริดคืออะไร/>.
- [10] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. (2558). **โครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้า ปี 2558**, สืบค้นเมื่อ 3 มีนาคม

2560, จาก <https://www.pea.co.th> > electricity-tariffs.

- [11] Pallonetto, F., Golab, S., Milano, F. and Finn, D. (2016). **The effect of time-of-use tariffs on the demand response flexibility of an all-electric smart-grid-ready dwelling.** Energy and Buildings. 128, 56 – 67.
- [12] Miller, R., Golab, L. and Rosenberg, C. (2017). **Modelling weather effects for impact analysis of residential time-of-use electricity pricing.** Energy Policy. 105, 534 – 546.
- [13] Qiu, Y., Colson, G. and Wetzstein, M. E. (2017). **Risk preference and adverse selection for participation in time-of-use electricity pricing programs.** Resource and Energy Economics. 47, 126 – 142.
- [14] Missaoui, R., Joumaa, H., Ploix, S. and Bacha, S. (2014). **Managing Energy Smart Homes according to energy prices: Analysis of a Building Energy Management System.** Energy and Buildings. 71, 155 – 167.
- [15] Iwafune, Y., Mori, Y., Kawai, T. and Yagita, Y. (2017). **Energy-saving effect of automatic home energy report utilizing home energy management system data in Japan.** Energy. 125, 382 – 392.
- [16] Derakhshan, G., Shayanfar, H.A. and Kazemi, A. (2016). **The optimization of demand response programs in smart grids.** Energy Policy. 94, 295 – 306.
- [17] Shakeri, M., Shayestegan, M., Abunima, H., Reza S.M.S., Akhtaruzzaman, M., Alamoud, A.R.M., ... Amin, N. (2017). **An intelligent system architecture in home energy management systems (HEMS) for efficient demand response in smart grid.** Energy and Buildings. 138, 154 – 164.
- [18] Xu, G. (2016). **Optimization models and algorithms for demand response in smart grid.** Doctoral Dissertation, Ph.D., University of Louisville.
- [19] Hussain, I., Mohsin, S., Basit, A., Khan, Z.A., Qasim, U. and Javaid, N. (2015). **A Review on Demand Response: Pricing, Optimization, and Appliance Scheduling.** Procedia Computer Science. 52, 843 – 850.
- [20] Rajalingam, S. and Malathi, V. (2016). **HEM algorithm based smart controller for**

- home power management system.** Energy and Buildings. 131, 184 – 192.
- [21] Fera, M., Macchiaroli, R., Iannone, R., Miranda, S. and Riemma, S. (2016). **Economic evaluation model for the energy Demand Response.** Energy. 112, 457 – 468.
- [22] Nan, S., Zhou, M. and Li, G. (2017). **Optimal residential community demand response scheduling in smart grid.** Applied Energy. 210, 1280–1289.
- [23] Ghazvini, M.A.F., Soares, J., Abrishambaf, O., Castro, C. and Vale, Z. (2017). **Demand response implementation in smart households.** Energy and Buildings. 143, 129 – 148.
- [24] Minchala–Avila, L.I., Armijos, J., Pesántez, D. and Zhang, Y. (2016). **Design and Implementation of a Smart Meter with Demand Response Capabilities.** Energy Procedia. 103, 195 – 200.
- [25] Sadineni, S. B., Atallah, F. and Boehm, R. F. (2012). **Impact of roof integrated PV orientation on the residential electricity peak demand.** Applied Energy. 92, 204–210.
- [26] Syed, I. M., and Raahemifar, K. (2016). **Energy advancement integrated predictive optimization of photovoltaic assisted battery energy storage system for cost optimization.** Electric Power Systems Research, 140. 917–924.
- [27] Okoye, C. O., and Solyali, O. (2017). **Optimal sizing of stand–alone photovoltaic systems in residential buildings.** Energy. 126, 573–584.
- [28] Sampaio, P. G. V., and González, M. O. A. (2017). **Photovoltaic solar energy: Conceptual framework.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, 67, 590–601.
- [29] รัชฎาพร คำภู และนายตยา คล้ายเรือง. (ผู้บรรยาย) (8 กรกฎาคม 2558). ศักยภาพในการลดค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยมาตรการการตอบสนองทางด้านโหลดในกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมประเภทเคมีภัณฑ์. ในการประชุมวิชาการงานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 7. (หน้า 103 –106). ตีพิมพ์: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย.
- [30] เอกกรินทร์ วัชรยิ่งยง. (2548). การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัย: กรณีอัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้กับกรณีอัตราค่าไฟฟ้าปกติ. การค้นคว้า

อิสระ ศ.ม., มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

- [31] ศศิน ทวีรสกุล และวิชัย สุระพัฒน์. (ผู้บรรยาย) (4 กุมภาพันธ์ 2557) การเพิ่มตัวประกอบการใช้ไฟฟ้าและลดค่าไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าในอุตสาหกรรมการผลิตท่อโลหะที่ใช้ในงานก่อสร้างและติดตั้งที่มีการใช้ไฟฟ้าแบบการแบ่งตามช่วงเวลา. **ในการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 52: สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์ และวิศวกรรมศาสตร์.** กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [32] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. (2560). **ตารางค่าธรรมเนียมการขอใช้ไฟฟ้า**, สืบค้น 3 กันยายน 2560, จาก <https://www.pea.co.th//ความรู้เกี่ยวกับไฟฟ้า/การขอใช้ไฟฟ้า/ArtMID/10143/ArticleID /39986 /ตารางค่าธรรมเนียมการขอใช้ไฟฟ้า>
- [33] Grenzone (Thailand) Co.,Ltd. (2013). **Solar PV system information pack – fit program.** greenzone (Contribute to a greener earth). Retrieved August 15, 2018, from <https://www.grenzone-thailand.com>
- [34] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2561). **ศักยภาพรังสีรวม ปี 2560.** สืบค้น 1 สิงหาคม 2561, จาก [http://www.dede.go.th/ewt\\_news.php?nid=47941&filename=index](http://www.dede.go.th/ewt_news.php?nid=47941&filename=index)



ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยพะเยา

UNIVERSITY OF PHAYAO

Scholarly Article

Received: May 10, 2018; Accepted: July 6, 2018

## การจำลองผลประหยัดค่าไฟฟ้าจากการเปลี่ยนมาใช้ ค่าไฟฟ้าแบบอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU)

### Electricity Cost Saving Simulation of Changing to Time of Use Rate (TOU)

ทรงพล ผึ้งวงศ์ และบุญวัฒน์ วิจารย์พล

สาขาวิชาพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม

มหาวิทยาลัยพะเยา ตำบลแม่กา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา 56000

นพรัตน์ เกตุขาว\*, วิชญ์พล พักแก้ว และธนณัฐ ลังกาดี

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยพะเยา ตำบลแม่กา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา 56000

Songpol Pudwong and Bunyawat Vichanpol

Department of Renewable Energy, School of Energy and Environment,

University of Phayao, Maeka, Muang, Phayao 56000

Nopparat Katkhaw\*, Wichaphon Fakkaew and Thananat Lungkadee

Department of Mechanical Engineering, School of Engineering,

University of Phayao, Maeka, Muang, Phayao 56000

#### บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์ประสงค์ในการนำเสนอแผนภูมิผลประหยัดค่าไฟฟ้า เมื่อเปลี่ยนมาใช้อัตราค่าไฟฟ้าจากอัตราปกติหรืออัตราตามช่วงเวลาของวัน (time of day, TOD) มาเป็นอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (time of use, TOU) สำหรับอัตราค่าไฟฟ้าทุกประเภท อ้างอิงจากโครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าปี พ.ศ. 2558 ตามประกาศของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยผลการประหยัดค่าไฟฟ้าที่ได้จะขึ้นอยู่กับตัวแปรด้านพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า เช่น หน่วยไฟฟ้าที่ใช้ต่อเดือน ( $kWh_{Total}$ ) สัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลา peak time ( $kWh_p/kWh_{Total}$ ) ตัวประกอบการใช้ไฟฟ้า (load factor) และสัดส่วนกำลังไฟฟ้า (demand ratio,  $P_{Peak}/P$ ) ซึ่งต่างกันออกไปตามประเภทผู้ใช้ไฟฟ้า ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถนำแผนภูมิมาใช้หาแนวทางในการเปลี่ยนมาใช้อัตรา TOU โดยการวิเคราะห์ตัวแปรด้านพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของตนเอง แล้วนำข้อมูลมาเขียนลงบนแผนภูมิเพื่อหาร้อยละผลประหยัดต่อไป โดยมีข้อสังเกตที่สำคัญที่ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถลดค่าไฟฟ้าด้วยการเปลี่ยนมาใช้อัตรา TOU คือ ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัยที่ใช้ไฟฟ้า 22-33 kV จะต้องมีส่วนการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลา peak time ไม่เกิน 0.7 ส่วนผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัยที่ใช้ไฟฟ้าน้อย

\*ผู้รับผิดชอบบทความ : nopparat.ka@up.ac.th

กว่า 22 kV และผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทกิจการขนาดเล็กจะต้องมีสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลา peak time ไม่เกิน 0.52 สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทกิจการขนาดกลางที่ใช้ไฟฟ้า 22-33 kV ที่มีสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าน้อยกว่า 0.4 หรือมีค่าตัวประกอบการใช้ไฟฟ้าน้อยกว่า 0.08 สามารถเปลี่ยนมาใช้อัตรา TOU ได้ทันที ส่วนผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทองค์กรที่ไม่แสวงหากำไรที่ใช้ไฟฟ้า 22-33 kV จะต้องมีส่วนการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลา peak time น้อยกว่า 0.55 และผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทองค์กรที่ไม่แสวงหากำไรที่ใช้ไฟฟ้าน้อยกว่า 22 kV จะต้องมีส่วนการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลา peak time น้อยกว่า 0.65 ส่วนผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทสูบน้ำเพื่อการเกษตร จะต้องมีส่วนการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลา peak time น้อยกว่า 0.4

**คำสำคัญ :** อัตรา TOU; การเปลี่ยนประเภทผู้ใช้ไฟฟ้า; การประหยัดค่าไฟฟ้า

### Abstract

This article aims to propose the electricity cost saving chart by changing from time of day (TOD) to time of use (TOU) for all electricity tariff rates. The study was based on electricity tariff rate (2015) of the provincial electricity authority (PEA). According to the research, the electricity cost saving depends on the electrical energy consumption behavior such as total energy consumption ( $kWh_{Total}$ ), electricity energy ratio ( $kWh_p/kWh_{Total}$ ) in peak time, and Load Factor as well as demand ratio ( $P_{Peak}/P$ ) relying on rate type. The customer can use this chart as the guidelines which changing to TOU rate by analyzing their own electrical usage behavior parameter. In addition, the chart is plotted to evaluate the percentage of energy saving. The customer can change to use the TOU rate, if they qualify these conditions. To illustrate, for residential customer at voltage level 22-33 kV must have an electricity energy ratio in peak time less than 0.7. For residential customer at voltage level is lower than 22 kV and small general service customer must have an electricity energy ratio in peak time less than 0.52. For medium general service customer at voltage 22-33 kV level which have an electricity energy ratio in peak time less than 0.4 or load factor less than 0.08 can change to use the TOU rate immediately. Additionally, for non-profit organization customer at voltage level 22-33 kV must have an electricity energy ratio in peak time less than 0.55. A non-profit organization customer at voltage level lower than 22 kV must have an electricity energy ratio in peak time less than 0.65. Finally, agricultural pumping customer must have an electricity energy ratio in peak time less than 0.4.

**Keywords:** TOU rate; change electric rate; electricity cost saving

### 1. บทนำ

หนึ่งนโยบายสำคัญที่ภาครัฐนำมาใช้เพื่อลดความต้องการไฟฟ้าสูงสุดและช่วยประหยัดพลังงาน

คือ ค่าไฟฟ้าอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (time of use tariff, TOU) เช่นเดียวกับประเทศที่พัฒนาแล้ว ที่ได้นำมาตรการดังกล่าวมาใช้อย่างมีประสิทธิภาพ ค่า

ไฟฟ้าอัตรา TOU เป็นอัตราค่าไฟฟ้าที่แตกต่างกันตามช่วงเวลาของการใช้ (time of use rate) โดยคิดเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงที่ระบบมีความต้องการใช้ไฟฟ้ามก (on peak) จะมีราคาสูงกว่าอัตราปกติ เนื่องจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตต้องใช้ทรัพยากรการผลิตไฟฟ้าเพื่อตอบสนองความต้องการที่มีสูงมาก ส่วนช่วงที่ระบบมีความต้องการใช้ไฟฟ้าน้อย (off peak) จะมีค่าไฟฟ้าถูกลง เนื่องจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจะมีต้นทุนการรับซื้อไฟจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตต่ำ อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (time of use tariff, TOU) ได้เริ่มนำมาใช้ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2540 โดยกำหนดให้เป็นอัตราเลือกสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้ารายเดิม และเป็นอัตราบังคับสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้ารายใหม่ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าตั้งแต่ 355,000 หน่วยต่อเดือนขึ้นไป หรือใช้พลังงานไฟฟ้าเกินกว่า 2,000 กิโลวัตต์ขึ้นไป [1]

ปี พ.ศ. 2545 รัฐได้เปิดโอกาสให้ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัยและกิจการขนาดเล็กสามารถเลือกใช้อัตรา TOU ได้ ที่ผ่านมามาคณะกรรมการการปฏิรูปพลังงานของสมาชิกสภาปฏิรูปแห่งชาติ (สปช.) ได้พยายามผลักดันให้การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) และการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) พยายามประชาสัมพันธ์ให้ประชาชนเกิดความเข้าใจกับค่าไฟฟ้าอัตรา TOU มากขึ้น และช่วยให้ประชาชนสามารถติดตั้งมิเตอร์ไฟฟ้าแบบ TOU ได้ง่ายและในราคาที่ไม่สูงมากนัก [2] ซึ่งจากการศึกษาของสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) [1] เมื่อปี พ.ศ. 2545 พบว่ามีจำนวนบ้านอยู่อาศัยมากกว่า 74,000 ราย และกิจการขนาดเล็กมากกว่า 9,300 ราย ที่มีศักยภาพในการลดค่าไฟฟ้าโดยการเปลี่ยนมาใช้อัตรา TOU ได้โดยไม่ต้องมีการปรับเปลี่ยนพฤติกรรม แต่จากข้อมูลปี พ.ศ. 2553-2557 ของ กฟน. กลับพบว่าจำนวนผู้ใช้ค่าไฟฟ้าอัตรา TOU ประเภทบ้านอยู่อาศัยในเขต กฟน. มีจำนวนลดลงทุก ๆ ปี [2] ซึ่ง กฟน. ได้ชี้แจงว่าผู้ใช้

ไฟฟ้าไม่สามารถปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าให้สอดคล้องกับอัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOU

ข้อมูลของ กฟน. ระบุว่าผู้ใช้ไฟฟ้าอัตรา TOU มีจำนวนลดลงอย่างต่อเนื่องนั้น อาจมีสาเหตุมาจากการขาดความรู้ความเข้าใจของประชาชนเกี่ยวกับโครงสร้างค่าไฟฟ้า และแนวทางในการปรับพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าให้สอดคล้องกับโครงสร้างค่าไฟฟ้าอัตรา TOU รวมทั้งขาดเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่จะมาช่วยวิเคราะห์ข้อมูลการใช้ไฟฟ้า ซึ่งที่ผ่านมาสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) [2] ได้ศึกษาแนวทางในการเปลี่ยนมาใช้อัตรา TOU ของบ้านอยู่อาศัยตามโครงสร้างค่าไฟฟ้าปี พ.ศ. 2545 โดยศึกษาผลประหยัดค่าไฟฟ้าที่มีความสัมพันธ์กับจำนวนหน่วยไฟฟ้าต่อเดือน และค่าสัดส่วนการใช้ไฟฟ้า พบว่าบ้านอยู่อาศัยและกิจการขนาดเล็กที่มีการใช้ไฟฟ้าตั้งแต่ 800 หน่วยต่อเดือนขึ้นไป และมีการใช้ไฟฟ้าในช่วง on peak ต่อเดือนขึ้นไป และมีการใช้ไฟฟ้าในช่วง off peak ในสัดส่วนร้อยละ 40 ต่อ 60 จะสามารถประหยัดค่าไฟฟ้า

เอกรินทร์ [3] ได้ทำตารางเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัยระหว่างอัตรา TOU และอัตราปกติที่สัมพันธ์กับจำนวนหน่วยไฟฟ้าต่อเดือน และค่าสัดส่วนการใช้ไฟฟ้า ซึ่งจากข้อมูลพบว่าผู้ใช้ไฟฟ้ามากกว่า 1,000 หน่วยต่อเดือน และมีค่าสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในช่วงความต้องการไฟฟ้าสูงน้อยกว่าช่วงความต้องการไฟฟ้าต่ำที่อัตราส่วนตั้งแต่ 45 : 55 เป็นต้นไป ควรจะเปลี่ยนมาใช้ไฟฟ้าอัตรา TOU นอกจากนี้ นพรัตน์ และวิษณุพล [4] ได้จัดทำแผนภูมิผลประหยัดค่าไฟฟ้าเมื่อเปลี่ยนประเภทผู้ใช้ไฟฟ้าเป็นอัตรา TOU สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทกิจการขนาดกลาง เพื่อให้ผู้ใช้ไฟฟ้านำไปเป็นแนวทางในการเปลี่ยนประเภทผู้ใช้ไฟฟ้าตามพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า โดยได้แสดงให้เห็นว่าผลประหยัดค่าไฟฟ้าจะขึ้นกับค่าตัวประกอบการใช้ไฟฟ้าและค่าสัดส่วนการใช้ไฟฟ้า โดยผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีค่า

สัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลา peak time (kWh<sub>p</sub>/kWh<sub>Total</sub>) น้อยกว่า 0.4 หรือมีค่า load factor น้อยกว่า 0.09 จะมีค่าไฟฟ้าในอัตรา TOU ถูกกว่าเสมอ

ข้อมูลพบว่าผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถเปลี่ยนมาใช้อัตรา TOU ได้หรือไม่ขึ้นอยู่กับพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า ได้แก่ จำนวนหน่วยไฟฟ้าต่อเดือน ค่าสัดส่วนการใช้ไฟฟ้า และค่าตัวประกอบการใช้ไฟฟ้า เป็นต้น รวมทั้งพิจารณาถึงประเภทของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภท ซึ่งตัวแปรดังกล่าวนี้มักนำมาใช้ในการกำหนดเป็นมาตรฐานในการจัดการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับควบคุมต้นทุนค่าไฟฟ้า [4-7] บทความนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการนำเสนอแผนภูมิผลประหยัดค่าไฟฟ้าเมื่อเปลี่ยนมาใช้อัตรา TOU สำหรับทุกประเภทอัตราค่าไฟฟ้าตามโครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าปี พ.ศ. 2558 โดยผลประหยัดที่ได้มีความสัมพันธ์กับตัวแปรทางด้านพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าดังกล่าว และได้นิยามตัวแปรด้านพฤติกรรมบางตัวขึ้นมาใหม่ให้สอดคล้องกับอัตราค่าไฟฟ้าทั้งหมด ซึ่งแผนภูมิที่ได้ง่ายต่อการทำความเข้าใจ เหมาะสำหรับผู้บุคคลทั่วไปนำไปใช้งาน เพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นเพื่อเป็นแนวทางประกอบการตัดสินใจเปลี่ยนประเภทผู้ใช้ไฟฟ้าต่อไป

## 2. วิธีการสร้างแผนภูมิผลประหยัดค่าไฟฟ้า

### 2.1 ข้อมูลเบื้องต้น

วิธีการสร้างแผนภูมิผลประหยัดของงานวิจัยนี้ อ้างอิงประกาศโครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าปี พ.ศ. 2558 [9] ที่บังคับใช้ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2558 สำหรับการวิเคราะห์ โดยผู้ใช้ไฟฟ้าทุกรายสามารถเปลี่ยนมาใช้อัตรา TOU แต่เมื่อเปลี่ยนเป็นอัตรา TOU แล้วไม่สามารถเปลี่ยนกลับไปใช้อัตราเดิมหรือไม่ขึ้นอยู่กับเงื่อนไข ดังตารางที่ 1

### 2.2 สมการผลประหยัดค่าไฟฟ้า

การสร้างแผนภูมิผลประหยัดค่าไฟฟ้าจะเริ่มต้นโดยการสร้างสมการค่าไฟฟ้าฐานต่อหน่วยของแต่ละประเภทอัตรา โดยค่าไฟฟ้าฐานต่อหน่วยจะไม่นรวมค่าบริการและค่าไฟฟ้าผันแปร (float time, FT) ในที่นี้จะนิยามตัวแปรทางด้านพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า ดังตารางที่ 2

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าไฟฟ้าฐานต่อหน่วยและตัวแปรทางด้านพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้ามีความแตกต่างกันออกไปตามแต่ละประเภทอัตรา ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 1 เงื่อนไขในการเปลี่ยนกลับมาใช้อัตราปกติ หรืออัตรา TOD

ประเภท	การเปลี่ยนกลับมาใช้อัตราปกติ หรือ TOD	เงื่อนไขในการเปลี่ยนกลับมาใช้อัตราปกติ หรืออัตรา TOD	งบประมาณการติดตั้งมิเตอร์ TOU (บาท) [7]
ประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย	ได้	ใช้อัตรา TOU มาไม่น้อยกว่า 12 เดือน	17,000 - 18,000
ประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็ก	ได้	ใช้อัตรา TOU มาไม่น้อยกว่า 12 เดือน	17,000 - 18,000
ประเภทที่ 3 กิจการขนาดกลาง	ไม่ได้	-	-
ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่	ไม่ได้	-	-
ประเภทที่ 5 กิจการเฉพาะอย่าง	-	ใช้ได้เฉพาะอัตรา TOU	-
ประเภทที่ 6 อสังหาริมทรัพย์	ได้	ใช้อัตรา TOU มาไม่น้อยกว่า 12 เดือน	17,000 - 18,000
ประเภทที่ 7 สุนัขเพื่อการเกษตร	ได้	ใช้อัตรา TOU มาไม่น้อยกว่า 12 เดือน	17,000 - 18,000

ตารางที่ 2 นิยามตัวแปรทางด้านพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า [8]

สัญลักษณ์	ความสัมพันธ์	ความหมาย
LF	$LF = \frac{kWh_{Total}}{30 \times 24 \times P}$	สัดส่วนกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยต่อกำลังไฟฟ้าสูงสุด
LF <sub>p</sub>	$LF_p = \frac{kWh_{Total}}{30 \times 24 \times P_{Peak}}$	สัดส่วนกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยต่อกำลังไฟฟ้าสูงสุดในช่วง Peak Time
$\alpha$	$\alpha = \frac{kWh_{Peak}}{kWh_{Total}}$	สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้า
$\rho$	$\rho = \frac{P_{Peak}}{P}$	สัดส่วนพลังไฟฟ้าตามช่วงเวลาของอัตรา TOU
$\beta$	$\beta = \frac{P_{Peak}}{P_{Partial}}$	สัดส่วนพลังไฟฟ้าตามช่วงเวลาของอัตรา TOD

$kWh_{Peak}$  คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้รวมทั้งเดือนในช่วง peak (kWh);  $kWh_{OP}$  คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้รวมทั้งเดือนในช่วง off peak (kWh);  $kWh_{Total}$  คือ พลังงานไฟฟ้ารวมทั้งเดือน (kWh);  $P$  คือ พลังไฟฟ้าสูงสุด (kW);  $P_{Peak}$  คือ พลังไฟฟ้าสูงสุดในช่วง peak (kW);  $P_{Partial}$  คือ พลังไฟฟ้าสูงสุดในช่วง partial (kW); LF คือ ค่าตัวประกอบการใช้ไฟฟ้า (load factor); LF<sub>p</sub> คือ ค่าตัวประกอบการใช้ไฟฟ้าของ  $P_{Peak}$  (load factor of  $P_{Peak}$ );  $\alpha$  คือ สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วง peak ต่อ พลังงานไฟฟ้ารวม;  $\rho$  คือ สัดส่วนพลังไฟฟ้าสูงสุดในช่วง peak ต่อพลังไฟฟ้าสูงสุด;  $\beta$  คือ สัดส่วนพลังไฟฟ้าสูงสุดในช่วง peak ของอัตรา TOD ต่อพลังไฟฟ้าสูงสุดในช่วง partial

ตารางที่ 3 สมการความสัมพันธ์ของค่าไฟฟ้าฐานกับตัวแปรทางด้านพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า

ประเภท	อัตรา	กลุ่มผู้ใช้	สมการ
ประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย	1.1 ปกติ	1.1.1 ใช้พลังงานไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน	$UR_N(kWh_{Total}) = 2.3488 + 0.6394 \left(1 - \frac{15}{kWh_{Total}}\right) + 0.2523 \left(1 - \frac{25}{kWh_{Total}}\right) + 0.3832 \left(1 - \frac{35}{kWh_{Total}}\right) + 0.0934 \left(1 - \frac{100}{kWh_{Total}}\right) + 0.5047 \left(1 - \frac{150}{kWh_{Total}}\right) + 0.1999 \left(1 - \frac{400}{kWh_{Total}}\right)$
		1.1.2 ใช้พลังงานไฟฟ้าเกิน 150 หน่วยต่อเดือน	$UR_N(kWh_{Total}) = 3.2484 + 0.9734 \left(1 - \frac{150}{kWh_{Total}}\right) + 0.1999 \left(1 - \frac{400}{kWh_{Total}}\right)$
	1.2 ตามช่วงเวลา ของการใช้	1.2.1 แรงดัน 22-33 kV	$UR_{TOU}(\alpha) = 2.6037 + 2.5098\alpha$
		1.2.2 แรงดันต่ำกว่า 22 kV	$UR_{TOU}(\alpha) = 2.6369 + 3.1613\alpha$

ตารางที่ 3 (ต่อ)

ประเภท	อัตรา	กลุ่มผู้ใช้	สมการ
ประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็ก	2.1 ปกติ	2.1.1 แรงดัน 22-33 kV	$UR_N = 3.9086$
		2.1.2 แรงดันต่ำกว่า 22 kV	$UR_N(kWh_{Total}) = 3.2484 + 0.9734 \left(1 - \frac{150}{kWh_{Total}}\right) + 0.1999 \left(1 - \frac{400}{kWh_{Total}}\right)$
	2.2 ตามช่วงเวลา ของการใช้	2.2.1 แรงดัน 22-33 kV	$UR_{TOU}(\alpha) = 2.6037 + 2.5098\alpha$
		2.2.2 แรงดันต่ำกว่า 22 kV	$UR_{TOU}(\alpha) = 2.6369 + 3.1613\alpha$
ประเภทที่ 3 กิจการขนาดกลาง	3.1 ปกติ	3.1.2 แรงดัน 22-33 kV	$UR_N(LF) = 3.1729 + \frac{196.26}{720LF}$
		3.1.3 แรงดันต่ำกว่า 22 kV	$UR_N(LF) = 3.2009 + \frac{221.50}{720LF}$
	3.2 ตามช่วงเวลา ของการใช้	3.2.2 แรงดัน 22-33 kV	$UR_{TOU}(\alpha, \rho, LF) = 2.6295 + 1.5802\alpha + \frac{132.93\rho}{720LF}$
		3.2.3 แรงดันต่ำกว่า 22 kV	$UR_{TOU}(\alpha, \rho, LF) = 2.6627 + 1.6928\alpha + \frac{210\rho}{720LF}$
ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่	4.1 ปกติ	4.1.2 แรงดัน 22-33 kV	$UR_{TOD}(\beta, LF) = \begin{cases} 3.1729 + \frac{58.88 + 226.17\beta}{720LF}, & \beta < 1 \\ 3.1729 + \frac{58.88 + 226.17}{720LF}, & \beta \geq 1 \end{cases}$
	4.2 ตามช่วงเวลา ของการใช้	4.2.2 แรงดัน 22-33 kV	$UR_{TOU}(\alpha, \rho, LF) = 2.6295 + 1.5802\alpha + \frac{132.93\rho}{720LF}$
ประเภทที่ 6 องค์กรที่ไม่แสวงหากำไร	6.1 ปกติ	6.1.2 แรงดัน 22-33 kV	$UR_N = 3.6107$
		6.1.3 แรงดันต่ำกว่า 22 kV	$UR_N(kWh_{Total}) = 2.8271 + 1.0906 \left(1 - \frac{10}{kWh_{Total}}\right)$
	6.2 ตามช่วงเวลา ของการใช้	6.2.2 แรงดัน 22-33 kV	$UR_{TOU}(\alpha, LF_p) = 2.6295 + 1.5802\alpha + \frac{132.93}{720LF_p}$
		6.2.3 แรงดันต่ำกว่า 22 kV	$UR_{TOU}(\alpha, LF_p) = 2.6627 + 1.6928\alpha + \frac{210}{720LF_p}$
ประเภทที่ 7 ผู้นำเพื่อการเกษตร	7.1 ปกติ		$UR_N(kWh_{Total}) = 2.0889 + 1.1516 \left(1 - \frac{100}{kWh_{Total}}\right)$
	7.2 ตามช่วงเวลา ของการใช้	7.2.1 แรงดัน 22-33 kV	$UR_{TOU}(\alpha, LF_p) = 2.6037 + 1.5802\alpha + \frac{132.93}{720LF_p}$
		7.2.2 แรงดันต่ำกว่า 22 kV	$UR_{TOU}(\alpha, LF_p) = 2.6369 + 1.6928\alpha + \frac{210}{720LF_p}$

\*ประเภทที่ 5 กิจการเฉพาะอย่างจะใช้อัตรา TOU ได้เท่านั้น

ตารางที่ 3 นิยามตัวแปรทางคณิตศาสตร์ ดังนี้

$$\left(1 - \frac{a}{kWh_{Total}}\right) = \begin{cases} 1 - \frac{a}{kWh_{Total}}, & a < kWh_{Total} \\ 0, & a \geq kWh_{Total} \end{cases} \quad (1)$$

โดย  $a$  คือ ค่าคงที่ใด ๆ ในตารางที่ 3;  $UR_N$  คือ ค่าไฟฟ้าฐานต่อหน่วยของการคิดค่าไฟฟ้าแบบอัตราปกติ (บาท/kWh);  $UR_{TOD}$  คือ ค่าไฟฟ้าฐานต่อหน่วยของการคิดค่าไฟฟ้าแบบอัตรา TOD (บาท/kWh);  $UR_{TOU}$  คือ ค่าไฟฟ้าฐานต่อหน่วยของการคิดค่าไฟฟ้าแบบอัตรา TOU (บาท/kWh)

สมการค่าไฟฟ้าฐานของแต่ละประเภท อัตราค่าไฟฟ้าตารางที่ 3 สามารถนำมาสร้างสมการ ผลประหยัดค่าไฟฟ้าเมื่อเปลี่ยนอัตราค่าไฟฟ้าจาก อัตราปกติหรืออัตรา TOD มาเป็นอัตรา TOU ได้ตาม สมการต่อไปนี้

(1) กรณีเปลี่ยนจากอัตราปกติเป็น TOU สำหรับอัตราค่าไฟฟ้าประเภทที่ 1, 2, 3, 6 และ 7

$$\delta = \frac{UR_N - UR_{TOU}}{UR_N} \times 100 \quad (2)$$

(2) กรณีเปลี่ยนจากอัตรา TOD เป็น TOU สำหรับอัตราค่าไฟฟ้าประเภทที่ 4

$$\delta = \frac{UR_{TOD} - UR_{TOU}}{UR_{TOD}} \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ  $\delta$  คือ ร้อยละผลประหยัดค่าไฟฟ้า

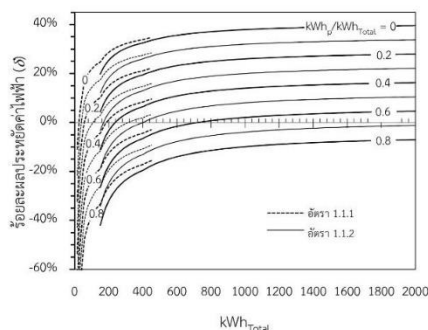
### 3. แผนภูมิผลประหยัดค่าไฟฟ้า

สมการร้อยละผลประหยัดเมื่อเปลี่ยนมาใช้ อัตรา TOU ตามสมการที่ 2 และ 3 สามารถนำมาสมการ เหล่านี้มาเขียนเป็นแผนภูมิผลประหยัดค่าไฟฟ้าของ ผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละประเภทดังนี้

#### 3.1 ประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย

3.1.1 อัตรา 1.2.1 (22-33 kV) เทียบกับ อัตรา 1.1.1, 1.1.2

อัตรานี้เป็นอัตราสำหรับบ้านอยู่อาศัยที่ รับไฟฟ้าแรงดันสูง ซึ่งอาจพบได้ไม่มาก อาจเป็นบ้าน ขนาดใหญ่ที่มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงมาก รูปที่ 1 แสดง ผลประหยัดขึ้นอยู่กับจำนวนหน่วยไฟฟ้ารวมทั้งเดือน และค่าสัดส่วนการใช้ไฟฟ้า ( $kWh_p/kWh_{Total}$ ) เช่น ผู้ใช้ ไฟฟ้าที่ใช้ไฟฟ้า 400 หน่วยต่อเดือน ต้องมีหน่วยการใช้ ไฟฟ้าในช่วงเวลา peak time ไม่เกิน 50 % ของ หน่วยไฟฟ้าทั้งหมด จึงจะสามารถประหยัดค่าไฟด้วยการ เปลี่ยนมาใช้อัตรา TOU ผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีค่าสัดส่วน การใช้ไฟฟ้ามากกว่า 0.7 นั้น ไม่สามารถที่จะลดค่า ไฟฟ้าด้วยการเปลี่ยนมาใช้อัตรา TOU



รูปที่ 1 อัตรา 1.2.1 (22-33 kV) เทียบกับอัตรา 1.1.1 หรืออัตรา 1.1.2

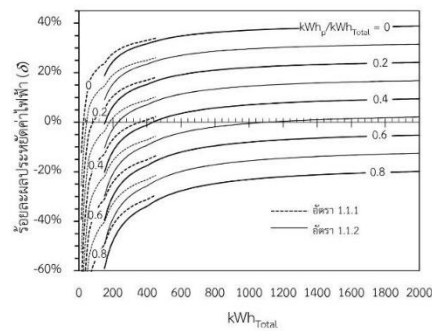
3.1.2 อัตรา 1.2.2 (<22 kV) เทียบกับ อัตรา 1.1.1, 1.1.2

อัตรานี้เป็นอัตราสำหรับบ้านอยู่อาศัย ทั่วไปที่รับไฟฟ้าแรงดันต่ำที่ 220-380 โวลต์ ดังนั้น ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าอาจมีค่าต่างกันไปตามการ ใช้งานพลังงานไฟฟ้า สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าอัตรา 1.1.1 ที่ ใช้ไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือนนั้น เมื่อพิจารณา จากรูปที่ 2 พบว่าผลประหยัดขึ้นอยู่กับจำนวนหน่วย ไฟฟ้ารวมทั้งเดือนและค่าสัดส่วนการใช้ไฟฟ้า เช่น ผู้ใช้ ไฟฟ้าที่ใช้ไฟฟ้า 80 หน่วยต่อเดือน ต้องมีหน่วยการใช้ ไฟฟ้าในช่วงเวลา peak time ไม่เกิน 20 % ของหน่วย ไฟฟ้าทั้งหมดจึงจะสามารถลดค่าไฟฟ้าด้วยการเปลี่ยน มาใช้อัตรา TOU นอกจากนี้ยังพบว่าผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีค่า สัดส่วนการใช้ไฟฟ้า ( $kWh_p/kWh_{Total}$ ) มากกว่า 0.3 นั้น ไม่สามารถที่จะลดค่าไฟฟ้าด้วยการเปลี่ยนมาใช้ อัตรา TOU

ส่วนผู้ใช้ไฟฟ้าอัตรา 1.1.2 ที่ใช้ไฟฟ้า ตั้งแต่ 150 หน่วยต่อเดือนเป็นต้นไปนั้น ผลประหยัด ขึ้นอยู่กับจำนวนหน่วยไฟฟ้ารวมทั้งเดือนและค่า สัดส่วนการใช้ไฟฟ้าด้วยเช่นกัน เช่น ผู้ใช้ไฟฟ้าตั้งแต่ 420 หน่วยต่อเดือน จะต้องมีสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าใน

ช่วงเวลา peak time ไม่เกิน 40 % จึงสามารถประหยัดค่าไฟฟ้าด้วยการเปลี่ยนมาใช้อัตรา TOU นอกจากนี้ยังพบว่าผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีสัดส่วนการใช้ไฟฟ้ามากกว่า 0.55 นั้นไม่สามารถที่จะลดค่าไฟฟ้าได้ด้วยการเปลี่ยนมาใช้อัตรา TOU

เมื่อพิจารณาข้อมูลของ สนพ. [2] ที่ระบุว่าบ้านที่อยู่อาศัยที่มีการใช้ไฟฟ้าตั้งแต่ 800 หน่วยต่อเดือนขึ้นไป และมีค่าสัดส่วนการใช้ไฟฟ้า 0.4 สามารถประหยัดค่าไฟฟ้าได้นั้น พบว่าเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 2 ผู้ใช้ไฟฟ้างดกลางมีผลประหยัดค่าไฟฟ้าที่ 5.7 % ส่วนผู้ใช้ไฟฟ้าที่ใช้ไฟฟ้า 1,000 หน่วยต่อเดือน และมีค่าสัดส่วนการใช้ไฟฟ้า 0.45 ซึ่งเป็นผู้ที่ควรเปลี่ยนมาใช้อัตรา TOU ตามคำแนะนำของ เกรรินทร์ [3] นั้นจะมีผลประหยัดค่าไฟฟ้าประมาณ 4 %



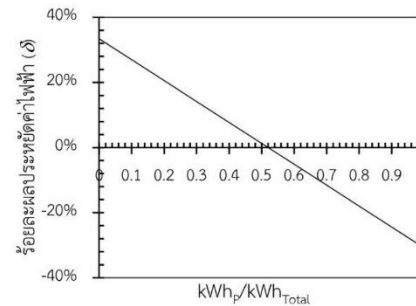
รูปที่ 2 อัตรา 1.2.2 (<22 kV) เทียบกับอัตรา 1.1.1 หรืออัตรา 1.1.2

### 3.2 ประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็ก

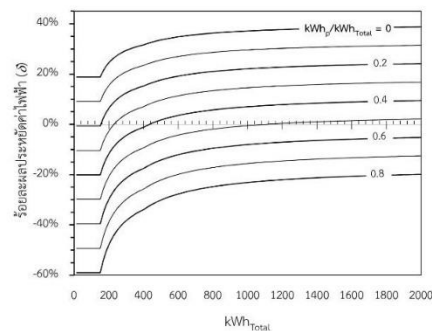
3.2.1 อัตรา 2.2.1 เทียบกับอัตรา 2.1.1 (22-33 kV)

อัตรานี้เป็นอัตราสำหรับกิจการขนาดเล็กที่รับไฟฟ้าแรงดันสูง ซึ่งจากสมการที่ 2 พบว่าผลประหยัดขึ้นอยู่กับค่าสัดส่วนการใช้ไฟฟ้า ( $kWh_p/kWh_{Total}$ )

$kWh_{Total}$ ) เท่านั้น ซึ่งผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีหน่วยการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลา peak time ไม่เกิน 52 % ของหน่วยไฟฟ้าทั้งหมด จะมีค่าไฟฟ้าในอัตรา TOU ถูกกว่าอัตราปกติเสมอ พบว่าถ้าไม่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าหรือมีการใช้เพียงเล็กน้อยในช่วงเวลา peak time ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถประหยัดค่าไฟฟ้าได้มากกว่า 30 % ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 อัตรา 2.2.1 (22-33 kV) เทียบกับอัตรา 2.1.1



รูปที่ 4 อัตรา 2.2.2 (<22 kV) เทียบกับอัตรา 2.1.2

3.2.2 อัตรา 2.2.2 เทียบกับอัตรา 2.1.2 (<22 kV)

อัตรานี้เป็นอัตราสำหรับกิจการขนาดเล็กที่รับไฟฟ้าแรงดันต่ำที่ 220-380 โวลต์ [9] รูปที่ 4 แสดงผลประหยัดขึ้นอยู่กับจำนวนหน่วยไฟฟ้ารวมทั้ง

เดือนและค่าสัดส่วนการใช้ไฟฟ้า ( $kWh_p/kWh_{Total}$ ) เช่น ผู้ใช้ไฟฟ้าที่ใช้ไฟฟ้า 420 หน่วยต่อเดือน ต้องมีหน่วยการใช้ไฟฟ้าในระยะเวลา peak time ไม่เกิน 40 % ของหน่วยไฟฟ้าทั้งหมด จึงสามารถประหยัดค่าไฟได้ด้วยการเปลี่ยนมาใช้อัตรา TOU และจากรูปพบว่า ผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีค่าสัดส่วนการใช้ไฟฟ้ามากกว่า 0.52 นั้นไม่สามารถลดค่าไฟฟ้าด้วยการเปลี่ยนมาใช้อัตรา TOU

**3.3 ประเภทที่ 3 กิจการขนาดกลาง**

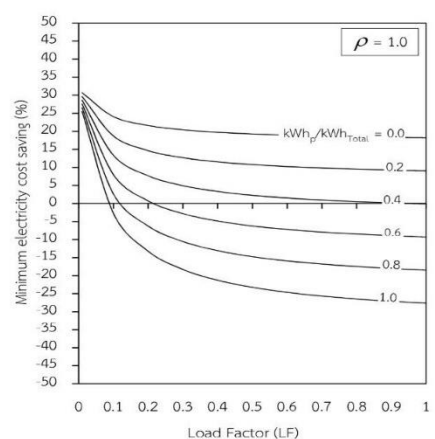
3.3.1 อัตรา 3.2.2 เทียบกับอัตรา 3.1.2 (22-33 kV)

อัตรานี้เป็นอัตราสำหรับกิจการขนาดกลางที่รับแรงดันไฟฟ้า 22-33 kV ซึ่ง นพรัตน์ และ วิชญ์พล [3] ได้อธิบายความสัมพันธ์ไว้ว่าเมื่อกำหนดให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดในช่วง peak time ( $P_{Peak}$ ) มีค่าเท่ากับกำลังไฟฟ้าสูงสุด ( $P$ ) แล้ว จะทำให้ค่า  $\rho$  มีค่าเท่ากับ 1 ซึ่งทำให้ผลประหยัดที่ได้เป็นผลประหยัดต่ำสุด และสามารถแสดงแผนภูมิร้อยละผลประหยัดต่ำสุดดังรูปที่ 5 พบว่าผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทอัตราค่าไฟฟ้าแบบปกติอยู่เดิม หากตรวจสอบใบแจ้งนี้ค่าไฟฟ้าแล้วพบว่าค่าสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในระยะเวลา peak time ( $kWh_p/kWh_{Total}$ ) น้อยกว่า 0.4 หรือมีค่า load factor น้อยกว่า 0.08 จะมีค่าไฟฟ้าในอัตรา TOU ถูกกว่าเสมอ ถึงแม้ผู้ใช้ไฟฟ้าใช้ไฟฟ้าเฉพาะช่วงเวลา peak time แต่ก็สามารถจะเปลี่ยนมาใช้อัตรา TOU ถ้ามีค่า load factor น้อยกว่า 0.08

3.3.2 อัตรา 3.2.3 เทียบกับอัตรา 3.1.3 (< 22 kV)

อัตรานี้เป็นอัตราสำหรับกิจการขนาดกลางที่รับแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่า 22 kV [9] ซึ่งเมื่อกำหนดให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดในช่วง peak time ( $P_{Peak}$ ) มีค่าเท่ากับกำลังไฟฟ้าสูงสุด ( $P$ ) แล้ว จะทำให้ค่า  $\rho$  มีค่าเท่ากับ 1 ผลดังกล่าวทำให้เกิดแผนภูมิผลประหยัดค่าไฟฟ้าที่น้อยที่สุด ดังรูปที่ 6 (โดยทั่วไปค่า  $\rho$  จะมีค่า

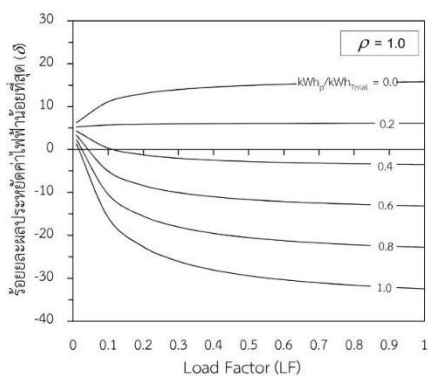
น้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 เสมอ ซึ่งในกรณีที่  $\rho$  มีค่าน้อยกว่า 1 จะทำให้ผลประหยัดมีค่าสูงกว่าค่าในแผนภูมินั้นเอง) ผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในระยะเวลา peak time ( $kWh_p/kWh_{Total}$ ) น้อยกว่า 0.32 มีศักยภาพในการลดค่าไฟฟ้าด้วยอัตรา TOU ได้ ส่วนผู้ที่มีสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในระยะเวลา peak time สูงกว่านั้น ต้องพิจารณาค่า load factor รวมด้วย เช่น ผู้ที่มีสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในระยะเวลา peak time เท่ากับ 0.4 จะต้องมียุทธศาสตร์ load factor น้อยกว่า 0.11



รูปที่ 5 อัตรา 3.2.2 เทียบกับ 3.1.2 (22-33 kV) [3]

**3.4 ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่**

เนื่องจากตัวแปรที่มีผลต่อผลประหยัดค่าไฟฟ้าของประเภทอัตรานี้มีจำนวนมาก ซึ่งประกอบไปด้วยค่าตัวประกอบการใช้ไฟฟ้า (load factor, LF) สัดส่วนพลังงานไฟฟ้า ( $kWh_p/kWh_{Total}$ ) ค่าสัดส่วนพลังงานไฟฟ้าสูงสุดในช่วง peak ต่อพลังงานไฟฟ้าสูงสุดในช่วง partial ( $\beta$ ) และสัดส่วนกำลังไฟฟ้า ( $\rho$ ) ซึ่งทำให้สมการมีความซับซ้อนมาก หากผู้ใช้ไฟฟ้าต้องการทราบผลประหยัดที่ถูกต้องก็สามารถนำสมการที่นำเสนอมาคำนวณผลประหยัดได้



รูปที่ 6 อัตรา 3.2.3 เทียบกับ 3.1.3 (< 22 kV)

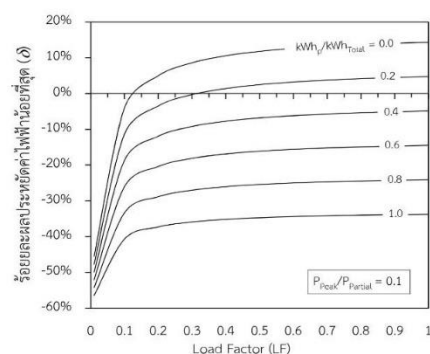
ในเบื้องต้น บทความนี้ยกตัวอย่างแผนภูมิที่มีความใกล้เคียงกับลักษณะงาน 2 ประเภท คือ งานประเภทสำนักงานที่มีการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลา 08:00-17:00 น. และงานประเภทบริการหรือการผลิต เช่น โรงพยาบาล โรงงาน ที่มีการใช้ไฟฟ้าตลอด 24 ชั่วโมง และเพื่อลดความซับซ้อนของสมการ จะกำหนดให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดเกิดขึ้นในช่วงเวลา 09:00-21:30 น. ซึ่งจะทำให้ค่า  $\rho$  มีค่าเท่ากับ 1 ซึ่งผลประหยัดที่ได้จากแผนภูมิจะเป็นผลประหยัดค่าไฟฟ้าต่ำสุด

3.4.1 อัตรา 4.2.2 เทียบกับอัตรา 4.1.1 (22-33 kV) สำหรับงานประเภทสำนักงาน

สำหรับกิจการประเภทสำนักงานที่มีการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลา 08:00-17:00 น. นั้นมักจะมีค่า  $P_{\text{Partial}}$  สูงกว่า  $P_{\text{Peak}}$  ซึ่งในช่วงเวลาหลังเลิกงานอาจยังมีการใช้ไฟฟ้าในบางส่วน เช่น ระบบเซิร์ฟเวอร์ ระบบแสงสว่าง กำลังสูญเสียไฟฟ้าที่หม้อแปลงไฟฟ้าและอื่น ๆ ในเบื้องต้นกำหนดให้ค่า  $P_{\text{Partial}}$  มีค่าประมาณ 10 % ของ  $P_{\text{Peak}}$  ซึ่งจะทำให้ค่า  $\beta$  เท่ากับ 0.1 ดังรูปที่ 7

รูปที่ 7 แสดงผู้ใช้ไฟฟ้าที่มี  $\beta$  เท่ากับ 0.1 นั้นไม่สามารถลดค่าไฟฟ้าด้วยการเปลี่ยนมาใช้

อัตรา TOU ถ้าสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลา peak time มีค่าสูงกว่า 0.3 ส่วนผู้ที่มีสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลา peak time ต่ำกว่า 0.3 นั้น ต้องพิจารณาค่า load factor ร่วมด้วย เช่น ผู้ที่มีสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลา peak time เท่ากับ 0.2 จะต้องมีความ load factor น้อยกว่า 0.32



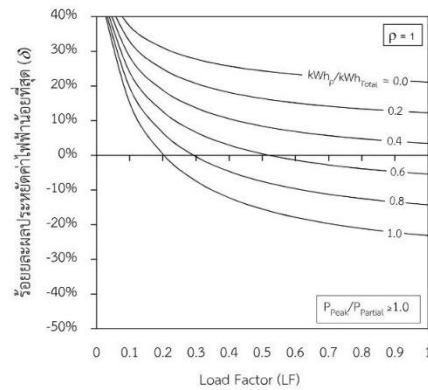
รูปที่ 7 อัตรา 4.2.2 เทียบกับ 4.1.2 (22-33 kV) ที่  $\beta$  เท่ากับ 0.1

3.4.2 อัตรา 4.2.2 เทียบกับอัตรา 4.1.2 (22-33 kV) สำหรับงานประเภทที่มีการใช้ไฟฟ้าตลอดวัน

สำหรับกิจการประเภทงานผลิตและงานบริการที่มีการใช้ไฟฟ้าอย่างสม่ำเสมอตลอดทั้ง 24 ชั่วโมง จะมีค่า  $P_{\text{Partial}}$  ใกล้เคียงกับ  $P_{\text{Peak}}$  ซึ่งบทความนี้นำเสนอแผนภูมิของผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีค่า  $\beta$  มากกว่าหรือเท่ากับ 1 ดังรูปที่ 8

รูปที่ 8 แสดงผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทอัตรา TOD ที่มีค่าสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลา peak time ( $kWh_p/kWh_{\text{Total}}$ ) น้อยกว่า 0.48 หรือมีค่า load factor น้อยกว่า 0.2 มีค่าไฟฟ้าในอัตรา TOU ถูกกว่าเสมอ ถึงแม้ผู้ใช้ไฟฟ้าใช้ไฟฟ้าเฉพาะช่วงเวลา peak time แต่ก็สามารถใช้ไฟฟ้าอัตรา TOU ถ้ามีค่า load

factor น้อยกว่า 0.2



รูปที่ 8 อัตรา 4.2.2 เทียบกับ 4.1.2 (22-33 kV) ที่  $\beta$  มากกว่าหรือเท่ากับ 1

รูปที่ 9 พบว่าถึงแม้ผู้ใช้ไฟฟ้าไม่ใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลา peak time การลดค่าไฟฟ้าไม่สามารถเกิดขึ้น ถ้าค่า  $LF_p$  มีค่าต่ำกว่า 0.19

3.5 ประเภทที่ 6 อองค์กรที่ไม่แสวงหาผลกำไร

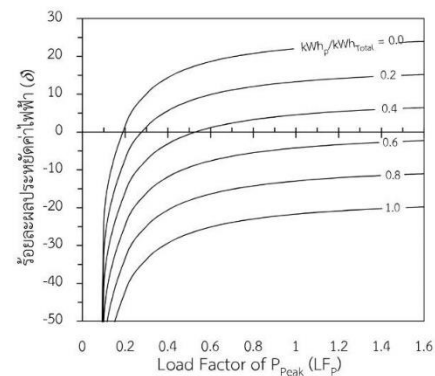
3.5.1 อัตรา 6.2.2 เทียบกับอัตรา 6.1.2 (22-33 kV)

อัตรานี้เป็นอัตราสำหรับองค์กรที่ไม่แสวงหาผลกำไรที่รับแรงดันไฟฟ้า 22-33 kV [9] รูปที่ 9 แสดงผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลา peak time ( $kWh_p/kWh_{Total}$ ) มากกว่า 0.5 จะไม่สามารถลดค่าไฟฟ้า ส่วนผู้ที่มีสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลา peak time ต่ำกว่า 0.5 นั้น ต้องพิจารณาค่า  $LF_p$  ร่วมด้วย เช่น ผู้ที่มีสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลา peak time เท่ากับ 0.4 จะต้องมีค่า  $LF_p$  สูงกว่า 0.53

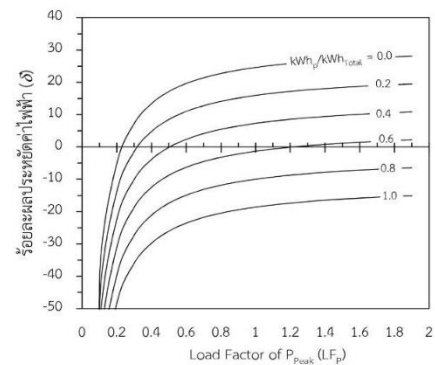
3.5.2 อัตรา 6.2.3 เทียบกับอัตรา 6.1.3 (<22 kV)

อัตรานี้เป็นอัตราสำหรับองค์กรที่ไม่แสวงหาผลกำไรที่รับแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่า 22 kV [9] ซึ่ง

จากข้อมูลการคิดค่าไฟฟ้าสำหรับอัตรา 6.1.3 นั้นเป็นอัตราก้าวหน้า แต่พบว่าค่าไฟฟ้าแตกต่างกันที่ 10 หน่วยแรกเท่านั้น ซึ่งถือว่ามีความต่ำมาก ดังนั้นในบทความนี้กำหนดให้ค่าไฟฟ้าสำหรับอัตราปกติเป็นแบบคงที่ เท่ากับ 3.9177 บาทต่อหน่วย ซึ่งจะทำให้ค่าผลประโยชน์ที่ได้มีความถูกต้องสูงในช่วงที่มีหน่วยการใช้ไฟฟ้าต่อเดือนสูง ๆ



รูปที่ 9 อัตรา 6.2.2 เทียบกับ 6.1.2 (22-33 kV)



รูปที่ 10 อัตรา 6.2.3 เทียบกับ 6.1.3 (< 22 kV)

รูปที่ 10 แสดงผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลา peak time ( $kWh_p/kWh_{Total}$ )

มากกว่า 0.6 โดยประมาณ ไม่สามารถลดค่าไฟฟ้าด้วยการเปลี่ยนมาใช้อัตรา TOU ส่วนผู้ที่มีสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลา peak time ต่ำกว่า 0.6 นั้น ต้องพิจารณาค่า  $LF_p$  ร่วมด้วย เช่น ผู้ที่มีสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลา peak time ประมาณ 0.4 จะต้องมีค่า  $LF_p$  สูงกว่า 0.5

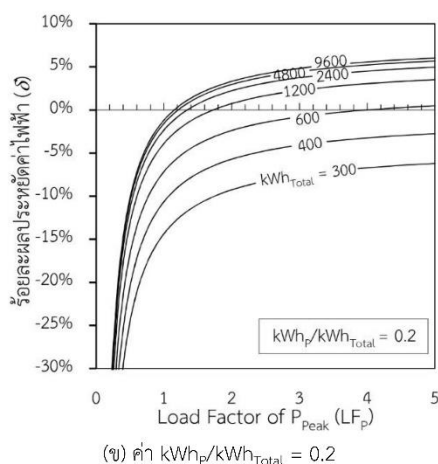
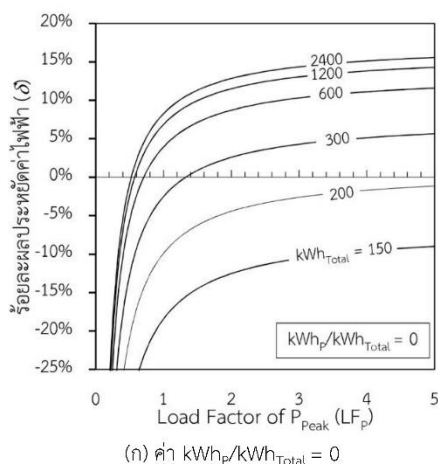
3.6 ประเภทที่ 7 สูบน้ำเพื่อการเกษตร

3.6.1 อัตรา 7.2.1 เทียบกับอัตรา 7.1 (22-33 kV)

อัตรานี้เป็นอัตราสำหรับกิจกรรมสูบน้ำเพื่อการเกษตรที่รับแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 22-33 kV [9] ซึ่งเมื่อพิจารณาจากสมการร้อยละผลประหยัดพบว่าผู้ใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลา peak time เกิน 40 % ไม่

สามารถลดค่าไฟฟ้าด้วยการเปลี่ยนมาใช้อัตรา TOU ดังนั้นในหัวข้อนี้จึงนำเสนอตัวอย่างแผนภูมิผลประหยัดสำหรับผู้ที่ใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลา peak time ไม่เกิน 20 % เท่านั้น

รูปที่ 11ก แสดงแผนภูมิผลประหยัดในกรณีที่ไม่มีการใช้ไฟฟ้าในช่วง peak time เลย ( $kWh_p/kWh_{Total} = 0$ ) ซึ่งพบว่าแนวโน้มผู้ใช้ไฟฟ้าน้อยกว่า 200 หน่วยต่อเดือน ไม่สามารถลดค่าไฟฟ้าด้วยการเปลี่ยนมาใช้อัตรา TOU ส่วนผู้ใช้ไฟฟ้ามากกว่า 200 หน่วยต่อเดือนที่ต้องการเปลี่ยนมาใช้อัตรา TOU นั้น ต้องพิจารณาค่า  $LF_p$  ร่วมด้วย เช่น ผู้ที่ใช้ไฟฟ้า 300 หน่วยต่อเดือน ต้องมีค่า  $LF_p$  สูงกว่า 0.7



รูปที่ 11 อัตรา 7.2.1 เทียบกับ 7.1 (22-33 kV)

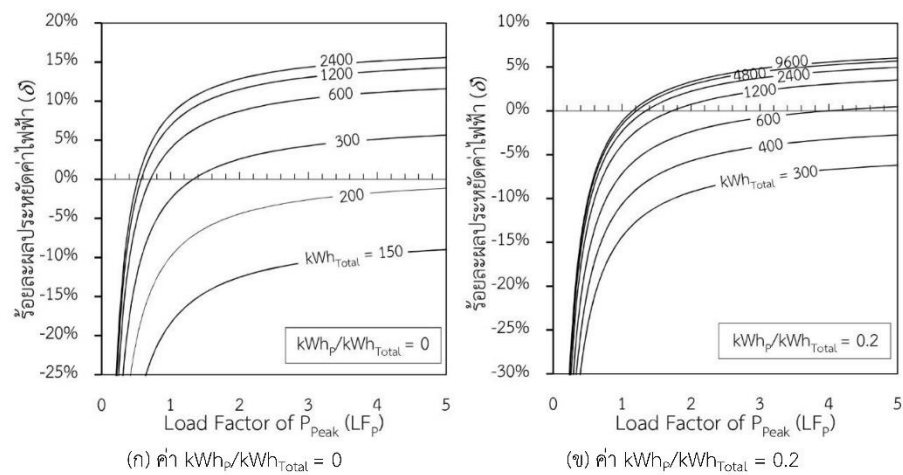
รูปที่ 11ข แสดงแผนภูมิผลประหยัดในกรณีที่มีการใช้ไฟฟ้าในช่วง peak time เท่ากับ 20 % ( $kWh_p/kWh_{Total} = 0.2$ ) ผู้ที่ใช้ไฟฟ้าน้อยกว่า 400 หน่วยต่อเดือน ไม่สามารถลดค่าไฟฟ้าด้วยการเปลี่ยนมาใช้อัตรา TOU ส่วนผู้ใช้ไฟฟ้ามากกว่า 400 หน่วย

ต่อเดือน ที่ต้องการเปลี่ยนมาใช้อัตรา TOU นั้น ต้องพิจารณาค่า  $LF_p$  ร่วมด้วย เช่น ผู้ที่ใช้ไฟฟ้า 600 หน่วยต่อเดือน ต้องมีค่า  $LF_p$  สูงกว่า 1.5

3.6.2 อัตรา 7.2.2 เทียบกับอัตรา 7.1 (<22 kV)

อัตรานี้เป็นอัตราสำหรับกิจกรรมสูบน้ำ เพื่อการเกษตรที่รับไฟฟ้าแรงดันต่ำระหว่าง 220-380 โวลต์ [9] ซึ่งเมื่อพิจารณาสมการร้อยละผลประหยัด พบว่าผู้ใช้ไฟฟ้าในช่วง peak time เกิน 40 % ไม่สามารถลดค่าไฟฟ้าด้วยการใช้อัตรา TOU ดังนั้น แผนภูมิผลประหยัดที่นำเสนอจึงเป็นแผนภูมิสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลา peak time ไม่เกิน 20 % เท่านั้น

รูปที่ 12ก แสดงแนวโน้มผู้ใช้ไฟฟ้า น้อยกว่า 200 หน่วยต่อเดือน ไม่สามารถลดค่าไฟฟ้า ด้วยการเปลี่ยนมาใช้อัตรา TOU ส่วนผู้ใช้ไฟฟ้า มากกว่า 200 หน่วยต่อเดือน ที่ต้องการเปลี่ยนมาใช้ อัตรา TOU นั้น ต้องพิจารณาค่า  $LF_p$  ร่วมด้วย เช่น ผู้ที่ ใช้ไฟฟ้า 300 หน่วยต่อเดือน ต้องมีค่า  $LF_p$  สูงกว่า 1.3



รูปที่ 12 อัตรา 7.2.2 เทียบกับ 7.1 (< 22 kV)

รูปที่ 12ข พบว่าผู้ใช้ไฟฟ้าน้อยกว่า 600 หน่วยต่อเดือน ไม่สามารถลดค่าไฟฟ้าด้วยการ เปลี่ยนมาใช้อัตรา TOU ส่วนผู้ใช้ไฟฟ้ามากกว่า 600 หน่วยต่อเดือน ที่ต้องการเปลี่ยนมาใช้อัตรา TOU นั้น ต้องพิจารณาค่า  $LF_p$  ร่วมด้วย เช่น ผู้ที่ใช้ไฟฟ้า 1,200 หน่วยต่อเดือน จะต้องมามีค่า  $LF_p$  สูงกว่า 1.7

แผนภูมิผลประหยัดค่าไฟฟ้าไปใช้ในการวิเคราะห์ ศักยภาพของตนเองในเบื้องต้น โดยการนำข้อมูลการใช้ ไฟฟ้า หรือข้อมูลจากใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้ามาคำนวณ ค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้อง แล้วนำค่าดังกล่าวมา plot ลง บนแผนภูมิ ก็จะทำให้ทราบผลประหยัดที่เกิดขึ้นได้ ดังเช่นตัวอย่างต่อไปนี้

4. การนำแผนภูมิผลประหยัดไปใช้งาน

ผู้ใช้ไฟฟ้าที่สนใจจะเปลี่ยนค่าไฟฟ้าจากอัตรา ปกติ หรืออัตรา TOD มาเป็นอัตรา TOU สามารถนำ

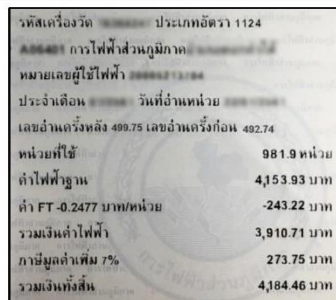
4.1 ตัวอย่างที่ 1

บ้านพักอาศัยตัวอย่างที่ใช้ไฟฟ้าในอัตรา ปกติ 1.1.2 และมีการใช้ไฟฟ้าเท่ากับ 981.9 หน่วย ดัง รูปที่ 13 ในการวิเคราะห์ศักยภาพในการเปลี่ยนมาใช้

อัตรา TOU ผู้ใช้ไฟฟ้าจะต้องทราบจำนวนหน่วยไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด และสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในช่วง peak time เพื่อนำมา plot ลงบนแผนภูมิผลประหยัดค่าไฟฟ้า ดังนั้นจึงมีการเก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของแต่ละอุปกรณ์ เพื่อมาคำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้าดังสมการ

$$\text{kWh} = \text{กำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ (kW)} \times \text{ชั่วโมงการใช้งาน} \times \text{ร้อยละการทำงาน} \quad (4)$$

ผลการคำนวณสามารถแสดงข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของแต่ละอุปกรณ์แยกตามช่วงเวลา peak และ off peak ได้ดังตารางที่ 4



รหัสเครื่องวัด	ประเภทอัตรา	1124
เลขที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค		
หมายเลขผู้ใช้ไฟฟ้า		
ประจำเดือน	วันที่อ่านหน่วย	
เลขอ่านเครื่องหลัง	เลขอ่านเครื่องก่อน	489.75 482.74
หน่วยที่ใช้		981.9 หน่วย
ค่าไฟฟ้าฐาน		4,153.93 บาท
ค่า FT-0.2477 บาท/หน่วย		-243.22 บาท
รวมเงินค่าไฟฟ้า		3,910.71 บาท
ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7%		273.75 บาท
รวมเงินทั้งสิ้น		4,184.46 บาท

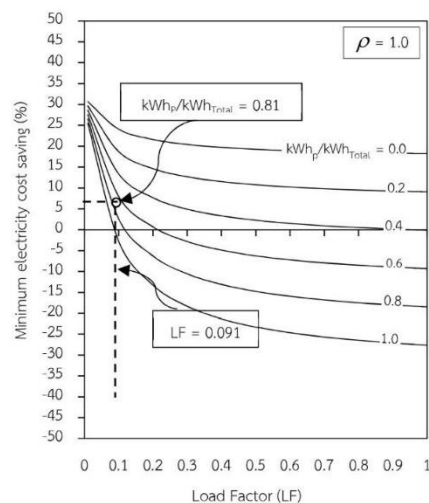
รูปที่ 13 ใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัยของบ้านอยู่อาศัยตัวอย่าง

ตารางที่ 4 การประเมินการใช้พลังงานไฟฟ้าของแต่ละอุปกรณ์ไฟฟ้าจากบ้านอยู่อาศัยตัวอย่าง

อุปกรณ์	กำลังไฟฟ้า (Watt)	จำนวน	ชั่วโมงการใช้ไฟฟ้าต่อเดือน		ร้อยละการทำงาน	หน่วยไฟฟ้าที่ใช้ต่อเดือน	
			Peak	Off peak		kWh <sub>Peak</sub>	kWh <sub>Off</sub>
เครื่องปรับอากาศ	1,000	3	44	226	50 %	66.00	339.00
เครื่องปรับอากาศ	1,000	1	0	24	50 %	0.00	12.00
หลอดไฟ	46	7	66	54	100 %	21.25	17.39
หลอดไฟ	46	1	66	264	100 %	3.04	12.14
หลอดไฟ	36	4	44	76	100 %	6.34	10.94
โทรทัศน์	60	3	44	76	100 %	7.92	13.68
โทรทัศน์	160	1	22	8	100 %	3.52	1.28
โทรทัศน์	160	1	0	40	100 %	0.00	6.40
คอมพิวเตอร์	100	1	44	76	100 %	4.40	7.60
คอมพิวเตอร์	350	1	22	8	100 %	7.70	2.80
เครื่องซักผ้า	600	1	22	8	100 %	13.20	4.80
เตารีด	2,400	1	22	12	100 %	52.80	28.80
พัดลม	54	1	22	8	100%	1.19	0.43
เครื่องทำน้ำอุ่น	122	3	15	30	100 %	5.49	10.98
กระติกน้ำร้อน	600	1	14	30	100 %	8.40	18.00
เตาไมโครเวฟ	800	1	20	10	100 %	16.00	8.00
เครื่องดูดฝุ่น	2,000	1	22	12	100 %	44.00	24.00
ตู้เย็น	109	2	286	434	30 %	18.70	28.38
ตู้เย็น	70	1	286	434	30 %	6.01	9.11
ไดร์เป่าผม	1,500	1	10	7.5	100 %	15.00	11.25
ปั้มน้ำอัตโนมัติ	400	1	286	434	10 %	11.44	17.36
รวม						312.39	584.36



ผลการคำนวณพบว่าค่า  $kWh_p/kWh_{Total}$  เท่ากับ 0.81 และค่าตัวประกอบการใช้ไฟฟ้า (load factor) เท่ากับ 0.091 ซึ่งโดยทั่วไปผู้ใช้ไฟฟ้าจะเข้าใจว่าหากมีการใช้ไฟฟ้าในช่วง peak time มากกว่าช่วง off peak มาก ๆ จะไม่สามารถลดค่าไฟฟ้าด้วยอัตรา TOU แต่เมื่อนำข้อมูล  $kWh_p/kWh_{Total}$  และ load factor มา plot ลงบนแผนภูมิผลประหยัดค่าไฟฟ้า พบว่าผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถประหยัดค่าไฟฟ้าด้วยการเปลี่ยนมาใช้อัตรา TOU โดยจะมีผลประหยัดประมาณร้อยละ 5 ดังรูปที่ 16 หรือคิดเป็นค่าไฟฟ้าฐานที่ลดลงประมาณ 5,190 บาท (ไม่รวมค่าบริการ ค่า Ft และภาษีมูลค่าเพิ่ม)



รูปที่ 16 การวิเคราะห์ผลประหยัดค่าไฟฟ้าของกิจการ ตัวอย่าง

โดยจากตัวอย่างดังกล่าวนั้น จะเห็นได้ว่าผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถนำแผนภูมิไปช่วยวิเคราะห์ศักยภาพในการเปลี่ยนมาใช้ค่าไฟฟ้าอัตรา TOU ได้ง่าย เมื่อทราบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของตนเอง ไม่ต้องคำนวณค่า

ไฟฟ้าตามโครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้า ซึ่งยากแก่การจดจำ และนำไปใช้งาน

## 5. สรุป

การนำข้อมูลโครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าปี พ.ศ. 2558 ตามประกาศของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมาจัดทำแผนภูมิผลประหยัดค่าไฟฟ้าจากการเปลี่ยนค่าไฟฟ้าจากอัตราปกติ หรืออัตรา TOD มาเป็นอัตรา TOU พบว่าผลประหยัดค่าไฟฟ้าขึ้นกับตัวแปรด้านพฤติกรรมของการใช้ไฟฟ้าที่แตกต่างกันตามประเภทผู้ใช้ไฟฟ้า ซึ่งผู้ใช้ไฟฟ้าที่ต้องการเปลี่ยนประเภทผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของตนเองแล้วนำมาพิจารณาในแผนภูมิ ก็จะทำให้ทราบความเป็นไปได้ถึงผลประหยัดค่าไฟฟ้า เมื่อเปลี่ยนจากค่าไฟฟ้าอัตราปกติมาเป็นค่าไฟฟ้าอัตรา TOU นอกจากนี้ยังมีข้อสังเกตที่สำคัญที่ผู้ใช้ไฟฟ้าจะสามารถเปลี่ยนมาใช้อัตรา TOU คือ

5.1 ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัย อัตรา 1.1.1 และ 1.1.2 ที่ใช้ไฟฟ้า 22-33 kV จะต้องมีสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลา peak time ไม่เกิน 0.7

5.2 ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัย อัตรา 1.1.1 และ 1.1.2 ที่ใช้ไฟฟ้าน้อยกว่า 22 kV และผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทกิจการขนาดเล็ก จะต้องมีสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลา peak time ไม่เกิน 0.52

5.3 ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทกิจการขนาดกลาง อัตรา 3.1.2 ที่ใช้ไฟฟ้า 22-33 kV ที่มีสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าน้อยกว่า 0.4 หรือมีค่าตัวประกอบการใช้ไฟฟ้าน้อยกว่า 0.08 สามารถเปลี่ยนมาใช้อัตรา TOU

5.4 ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทกิจการขนาดใหญ่ อัตรา 4.1.2 ที่ใช้ไฟฟ้า 22-33 kV การใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลา 08:00-17:00 น. จะต้องมีสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลา peak time น้อยกว่า 0.3

5.5 ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทกิจการขนาดใหญ่ อัตรา

4.1.2 ที่ใช้ไฟฟ้า 22-33 kV ที่มีการใช้ไฟฟ้าสม่ำเสมอตลอดวันที่มีสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าน้อยกว่า 0.48 หรือมีค่าตัวประกอบการใช้ไฟฟ้าน้อยกว่า 0.2 สามารถเปลี่ยนมาใช้อัตรา TOU

5.6 ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทองค์กรที่ไม่แสวงหากำไรอัตรา 6.1.2 ที่ใช้ไฟฟ้า 22-33 kV จะต้องมีสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลา peak time น้อยกว่า 0.55

5.7 ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทองค์กรที่ไม่แสวงหากำไรอัตรา 6.1.3 ที่ใช้ไฟฟ้าน้อยกว่า 22 kV จะต้องมีสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลา peak time น้อยกว่า 0.65

5.8 ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทสูบน้ำเพื่อการเกษตรจะต้องมีสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลา peak time น้อยกว่า 0.4

## 5. รายการอ้างอิง

- [1] สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ, 2545, การศึกษาอัตราค่าไฟฟ้า TOU, วนโยบายพลังงาน 55: 13-17.
- [2] ศูนย์ข้อมูล & ข่าวสืบสวนเพื่อสิทธิพลเมือง TCU, ค่าไฟฟ้าอัตรา TOU ลดวิกฤตช่วงพีคได้ ทำไมไม่การไฟฟ้าฯ ชอนไวได้พร้อม, แหล่งที่มา : <https://www.tcijthai.com/news/2016/07/scoop/6294>, 20 เมษายน 2560.
- [3] เอกกรินทร์ วัชรยิ่งยง, 2548, การเปรียบเทียบค่าใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัย : กรณีอัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้กับกรณีอัตราค่าไฟฟ้าปกติ, การศึกษาค้นคว้าอิสระปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ, 106 น.
- [4] นพรัตน์ เกตุขาว และวิชญ์พล พิกแก้ว, 2562, การจัดการใช้ไฟฟ้าในกลุ่มตัวอย่างศึกษาสำหรับโรงสีข้าว โรงแรม และโรงน้ำแข็ง, ว.วิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 29(4): (ตอบรับตีพิมพ์).
- [5] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2559, เอกสารเผยแพร่เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ชุด : การจัดการการใช้พลังงานไฟฟ้า, 50 น.
- [6] Power Planet - Electrical Management Systems, Electrical Load Factor, Available Source: [http://www.demandcharge.com/Web\\_Pages/Articles/Electrical\\_Load\\_Factor.html](http://www.demandcharge.com/Web_Pages/Articles/Electrical_Load_Factor.html), April 1, 2018.
- [7] สุพร กุลวัฒน์ชัย, 2551, เอกสารประกอบการอบรม : กิจกรรมการจัดการพลังงานแบบสมบูรณ์เพื่อยกระดับประสิทธิภาพการใช้พลังงานสำหรับอุตสาหกรรม รุ่นที่ 8, กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, 56 น.
- [8] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค จังหวัดพะเยา, สัมภาษณ์, 15 พฤศจิกายน 2560.
- [9] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, โครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าปี 2558, แหล่งที่มา : [https://w3c.pea.co.th/Portals/\\_default/Documents/Rate2015.pdf](https://w3c.pea.co.th/Portals/_default/Documents/Rate2015.pdf); 2559, 20 กันยายน 2560.

### A novel PV size selection for time of use tariff for residence in Phayao province, Thailand

Songpol Pudwong<sup>1</sup>, Bunyawat Vichanpol<sup>2</sup> and Nopparat Katkhaw<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>School of Energy and Environment, University of Phayao, Phayao 56000, Thailand.

<sup>2</sup>School of Engineering, University of Phayao, Phayao 56000, Thailand.

\*Corresponding author's email: nopparat\_ka@hotmail.com

Received: 06/02/2019, Accepted: 07/05/2019

#### Abstract

This research aims to study the photovoltaic (PV) size for residence that consider to take an advantage from the electricity cost of time of use (TOU) tariff. The study is conducted by considering the 2015 tariff rate of Provincial Electricity Authority (PEA). The research is studied only residence with electricity consumption over 150 kWh per month and at voltage level lower than 22 kV. In the study, the electricity generated from PV is used in peak time periods only. As the simulation results, the minimum and maximum PV size selection chart is demonstrated. The minimum and maximum PV size depend on the total electricity consumption before PV installation ( $kWh_{T,E}$ ) and the existing ratio of electricity consumption in peak time ( $\alpha_E$ ). If the electricity consumption per month and the ratio of electricity consumption in  $\alpha_E$  are increasingly high, the maximum size of the PV installation will be accordingly enlarged as well. In addition, the results showed that the customers who use the total electricity consumption less than 500 units per month and the ratio of electricity consumption in peak time more than 0.8 will not benefit to the TOU tariff.

#### Keyword:

*Photovoltaic, time of use tariff, residence, peak time*

#### Nomenclature

$\alpha$	Constant
$EC_N$	Electricity cost of normal tariff (Baht)
$EC_{TOU}$	Electricity cost of TOU tariff (Baht)
$kWh_{Peak}$	Electricity consumption in peak time (kWh)
$kWh_{PV}$	Electricity energy was generated by photovoltaic (kWh)
$kWh_{T,E}$	Total electricity consumption before PV installation (kWh)
$kWh_{T,NE}$	Total electricity consumption after PV installation (kWh)
$kWh_t$	Total electricity consumption from PEA. (kWh)
$PV$	Size of photovoltaic (kW <sub>p</sub> )
$UR_N$	Unit rate of normal tariff (Baht/kWh)
$UR_{TOU}$	Unit rate of TOU tariff (Baht/kWh)
$\alpha$	The ratio of electricity consumption in peak time

#### Subscript

$E$	Existing
$N$	Normal tariff
$NE$	New

<i>Peak</i>	Peak Time Period
<i>T</i>	Total
<i>TOU</i>	Time of Use tariff
<i>PV</i>	Photovoltaic

### 1. Introduction

Smart Grid Technology is the development of the electrical system which can respond more intelligently. It is capable of using less resources, working effectively, sustaining resources, safety and environmentally friendly. This technology can be described as self-sufficient systems which can quickly solve problems in an available system reducing the resource and target sustainability. The energy management technology consists of the main grid of electricity, the renewable energy, the information technology, the energy storage systems and the automatic control system [1]. It is a real time system with a data transmission of demand and supply of electricity to enhance the modern energy management.

Renewable energy is an important part of smart grid technology. Each type of renewable energy is differentiated by the source of energy such as solar energy, wind, biomass, hydro etc. Solar energy (photovoltaic: PV) is used to reduce electricity bills for residential homes. There are many advantages such as system reliability, low operation cost and maintenance, clean energy and free energy resources. Many researches have studied about the appropriate PV installation for the residence [2] [3] [4]. They found that the simulation of PV sizing optimization that each residential house was very complicated which had to use many techniques such as economics, supply chain, and other depth factors etc. However, a good simulation of PV could save an electricity cost for the residence.

Thailand has two electricity tariff for the residential homes which are a normal tariff and TOU tariff. The TOU tariff shows an electricity cost per unit higher than the normal tariff in peak time (9.00 AM – 22.00 PM, Monday – Friday) [5]. But the electricity cost per unit of TOU tariff is lower than the normal tariff in off peak. The installation of PV can reduce an electricity consumption in peak time which the electricity cost in TOU tariff is lower than the normal tariff. Therefore, the PV installation and using to the TOU tariff can effectively reduce the electricity cost for residential houses. Syed et al. simulated the forecasting of PV sizing optimization with electricity management of TOU tariff [6]. They found that the house as the simulation can reduce the cost of electricity from the grid and reduce load demand for grid during peak time period.

Recently, Songpol et al. conducted a study on electricity cost saving simulation of changing to time of use rate (TOU) for residential homes at voltage level 220 - 380 volts [7]. The results showed that the savings depended on the electricity consumption per month and the ratio of electricity consumption in peak time periods. To illustrate, the customer who use the electricity consumption exceeding 420 units per month and the ratio of electricity consumption in peak time ( $\alpha$ ) less than 0.4. They can save electricity by changing to the TOU tariff. Furthermore, if the ratio of electricity consumption in peak time is higher than 0.55, it cannot save electricity by changing to the TOU tariff.

In order to reduce the electricity cost, the PV has been installed. Then, the percentage of electricity cost saving by changing to TOU tariff will be effective when the ratio of electricity consumption in peak time is minimal as shown in Fig.1. Therefore, this research study the PV size to achieve the benefit of TOU tariff. In the study, the solar radiation data of Phayao province has been numericalled and the electricity generation from PV has been used during peak time periods.

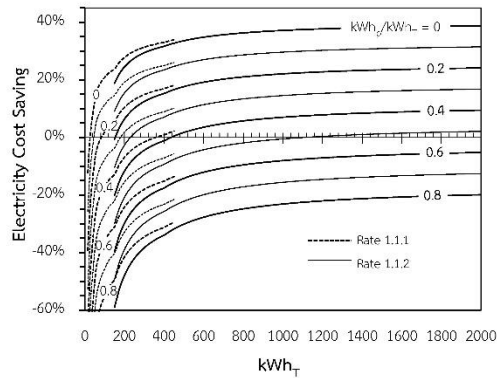


Fig. 1 Electricity saving cost of tariff no. 1.1.1 and 1.1.2 when using TOU tariff substitute to the normal tariff [7].

## 2. Research method

In this research, the residence using electricity more than 150 kWh per month (units per month) is considered. The evaluation of PV size that yields the benefit to the TOU tariff shows the procedure as Fig. 2.

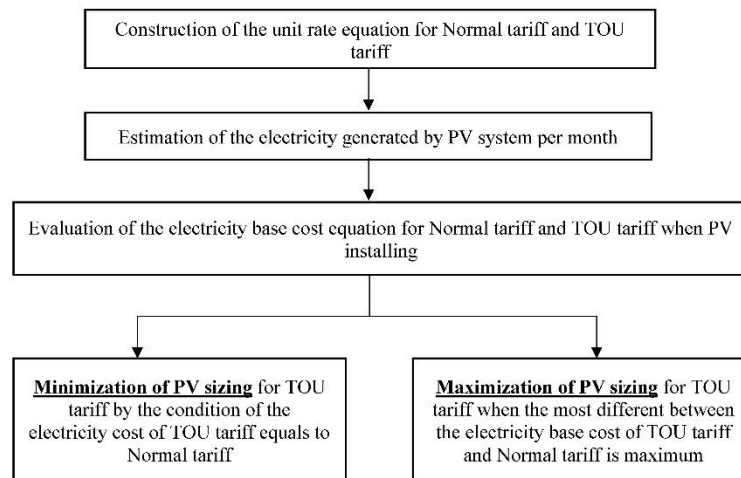


Fig. 2 The evaluating PV size procedure.

### 2.1 Unit rate for normal tariff and TOU tariff

The simulated electricity cost of a residence is an electricity customer refer to 1.1.2 rate and the

tariff announcement by the provincial electricity authority, 2015 [5]. The simulation for the electricity base cost of normal tariff and TOU tariff will be numerically calculated the unit rate of the PV installation.

The unit rate of normal tariff and TOU tariff can be calculated using Equation (1) and (2) [7]:

$$UR_N = 3.2484 + 0.9734 \left( 1 - \frac{150}{kWh_T} \right) + 0.1999 \left( 1 - \frac{400}{kWh_T} \right) \quad (1)$$

Where:

$$1 - \frac{a}{kWh_T} = \begin{cases} 1 - \frac{a}{kWh_T}, & a < kWh_T \\ 0, & a \geq kWh_T \end{cases}$$

$$UR_{TOU} = 2.6369 + 3.163\alpha \quad (2)$$

Where:  $UR_N$  = The unit rate of normal tariff (Baht/kWh)

$UR_{TOU}$  = The unit rate of TOU tariff (Baht/kWh)

### 2.2 The electricity generated by PV system

The electricity generated by the PV system per month can be calculated as the following equation [8]:

$$kWh_{PV} = I \times EF \times 30days \times PV \quad (3)$$

Where:  $kWh_{PV}$  = The electrical energy generated by the PV

$I$  = Insolation (kWh/m<sup>2</sup>/day)

$EF$  = An energy yield derating factor

$PV$  = Size of photovoltaic (kW<sub>p</sub>)

Greenzone (Thailand) recommended an energy yield derating factor is 0.7 [8] and department of alternative energy development and efficiency showing an Insolation for Phayao province is 4.67 kWh/m<sup>2</sup>/day [9].

Therefore:

$$kWh_{PV} = 98 \cdot PV \quad (4)$$

### 2.3 The electricity base cost when PV installing

When the PV system is installed, the total electricity consumption ( $kWh_T$ ) will be reduced and the electricity bill will be also decreased. The electricity consumption equation after PV installation can be written as the following equation.

$$kWh_{T,NE} = (kWh_{T,E} - 98 \cdot PV) \quad (5)$$

The ratio of electricity consumption in the peak time will change as well. Considering that the electricity generated from the PV is used only during peak time (It may be necessary to install a battery

to store energy during the peak time). The ratio of electricity consumption in the peak time is as shown.

$$\alpha_{NI} = \frac{\alpha_E \cdot kWh_{T,E} - 98 \cdot PV}{kWh_{T,E} - 98 \cdot PV} \quad (6)$$

From equation (1) and (2) can be written to electricity base cost of each tariff as the following equations.

$$EC_N = kWh_{T,NE} \cdot UR_N \quad (7)$$

$$EC_{TOU} = kWh_{T,NE} \cdot UR_{TOU} \quad (8)$$

Where:  $EC_N$  = The electricity base cost of normal tariff (Baht)  
 $EC_{TOU}$  = The electricity base cost of TOU tariff (Baht)

When replacing the equation (1) - (6) in equations (7) and (8), we obtain the electricity base cost equation for each tariff as the following equations:

$$EC_N = (kWh_{T,E} - 98 \cdot PV) \times \left[ 3.2484 + 0.9734 \left( 1 - \frac{150}{kWh_{T,E} - 98 \cdot PV} \right) + 0.1999 \left( 1 - \frac{400}{kWh_{T,E} - 98 \cdot PV} \right) \right] \quad (9)$$

$$EC_{TOU} = (kWh_{T,E} - 98 \cdot PV) \times \left[ 2.6369 + 3.1613 \left( \frac{\alpha_E \cdot kWh_{T,E} - 98 \cdot PV}{kWh_{T,E} - 98 \cdot PV} \right) \right] \quad (10)$$

From equation (9) and (10), we will simulate the electricity consumption of residential houses with the use of electricity at 1,000 units and the ratio of electricity consumption in the peak time is 0.6. The chart can be compared to the electricity base cost of both tariffs as show in Fig.3.

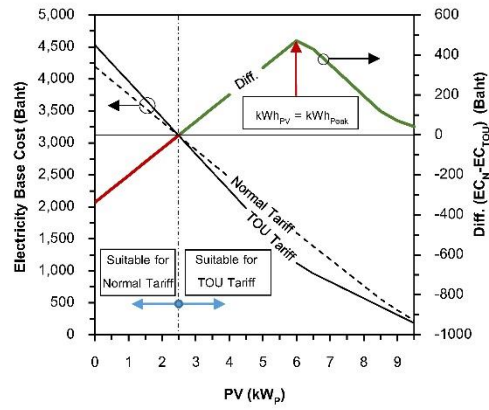


Fig. 3 Comparison of electricity cost of both tariffs at 1,000 kWh and  $\alpha_t = 0.6$  residence.

Fig. 3 shows that the installation of PV from 0 to 2.5 kW<sub>p</sub>, the electricity of the normal tariff will be lower than the TOU tariff and the installation of PV from 2.5 kW<sub>p</sub>, results in a TOU tariff lower than normal tariff. After installing PV over 6 kW<sub>p</sub>, the differences of two tariffs will be gradually decreased. Due to the installation size of more than 6 kW<sub>p</sub>, the ratio of electricity consumption in the Peak period is zero which the electricity cost per unit of TOU is a constant rate at 2.6369 baht per unit.

### 3. Results and discussions

#### 3.1 The minimum PV sizing

Based on Fig. 3, when the electricity cost of TOU tariff equals to normal tariff, then this point shows the minimum PV size. This condition is defined by following equation:

$$EC_N = EC_{TOU} \quad (11)$$

Substitute equation (9) (10) into equation (11) will be

$$\begin{aligned} 3.2484 + 0.9734 \left( 1 - \frac{150}{kWh_{T,E} - 98 \cdot PV} \right) + 0.1999 \left( 1 - \frac{400}{kWh_{T,E} - 98 \cdot PV} \right) \\ = 2.6369 + 3.1613 \left( \frac{\alpha_t \cdot kWh_{T,E} - 98 \cdot PV}{kWh_{T,E} - 98 \cdot PV} \right) \end{aligned} \quad (12)$$

Where:

$$1 - \frac{a}{kWh_{T,E}} = \begin{cases} 1 - kWh_{T,E}, & a < kWh_T \\ 0, & a \geq kWh_T \end{cases}$$

The equation (12) can be written as a PV sizing equation, which is based on the total electricity consumption before the PV installation ( $kWh_{T,E}$ ) and the existing ratio of electricity consumption in peak time ( $\alpha_E$ ) as shown in Table 1.

Table 1 Equation for the minimum PV sizing.

Equation	Condition
$PV = (0.0127\alpha_E - 0.0024) \cdot kWh_{T,E}$ (13)	if $kWh_{T,E} - 98 \cdot PV < 150$
$PV = (0.0205\alpha_E - 0.0103) \cdot kWh_{T,E} + 0.9709$ (14)	if $150 < kWh_{T,E} - 98 \cdot PV < 400$
$PV = (0.0234\alpha_E - 0.0132) \cdot kWh_{T,E} + 1.6748$ (15)	if $kWh_{T,E} - 98 \cdot PV > 400$

Equation (13) - (15) can be used to create the minimum PV chart that will benefit from using TOU tariff as shown in Fig. 4.

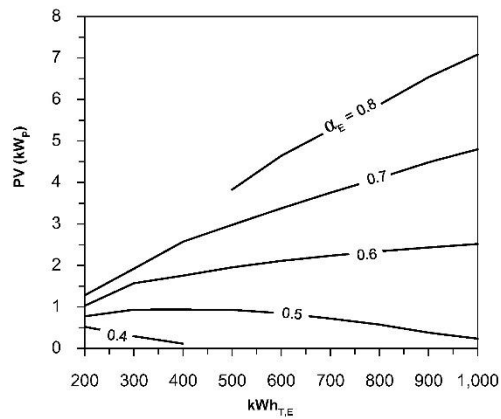


Fig. 4 Minimum of PV (kW<sub>p</sub>) installation with TOU tariff for residence.

Fig. 4 shows the minimum PV size depended on the  $kWh_{T,E}$  and the existing ratio of electricity consumption in  $\alpha_E$  that will benefit from the TOU tariff. For example, the customer using the total electricity consumption before PV installation is 400 units per month and the existing ratio of electricity consumption in  $\alpha_E$  is 0.7. Then, in order to benefit from the TOU tariff, a PV installation should be at 2.5 kW<sub>p</sub> or more. Fig. 4 can be concluded that the customer who use the total electricity consumption before PV installation is 500 units per month and the existing ratio of electricity consumption in  $\alpha_E$  at 0.8 cannot take advantage from the TOU tariff.

### 3.2 The maximum PV sizing

The evaluation of the maximum PV size will benefit from the TOU tariff. According to Fig. 3, the most different between the electricity base cost of TOU tariff and the normal tariff is the maximum PV size. In this point, the  $kWh_{PV}$  is equal to  $kWh_{Peak}$  and can be written the equation as

$$kWh_{PV} = kWh_{Peak} \quad (16)$$

Substitute equation (16) in equation (12) will be

$$PV = \frac{kWh_{TE} \times \alpha_E}{98} \quad (17)$$

The equation can be created as a chart to determine the maximum PV size that will result in the different electricity base cost between TOU tariff and normal tariff has been shown in Fig. 5.

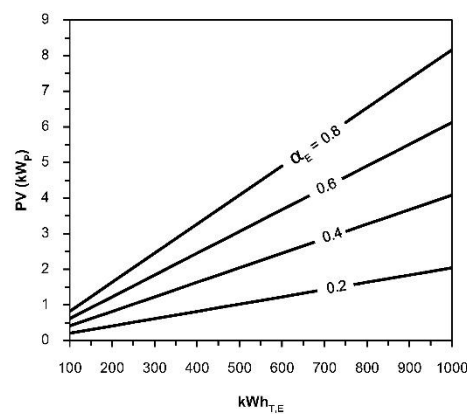


Fig. 5 Maximum PV installation.

Fig. 5 shows that the maximum PV is depended on the total electricity consumption per month and the ratio of electricity consumption in peak time periods. For the example, the customer who uses electricity 500 units per month and the ratio of electricity consumption in the peak range at 0.4, the maximum PV installation is 2 kW<sub>p</sub>. From the result, the maximum size of the PV installation is higher when the electricity consumption per month and the ratio of electricity consumption in peak time are increase.

### 3.3 Electricity chart for each residence

Fig. 3 shows the minimum size of PV that has benefited from TOU tariff. If the PV size is installed greater, the different electricity base cost between TOU tariff and normal tariff will also increase. The difference in data is useful for the customers to analyze economics. So, this part needs to show the comparison of both tariffs. According to equation (6) and (7), the charts are created for residence who use the electricity at 200, 400, 600, 800 and 1,000 kWh per month, as shown in Fig. 6.

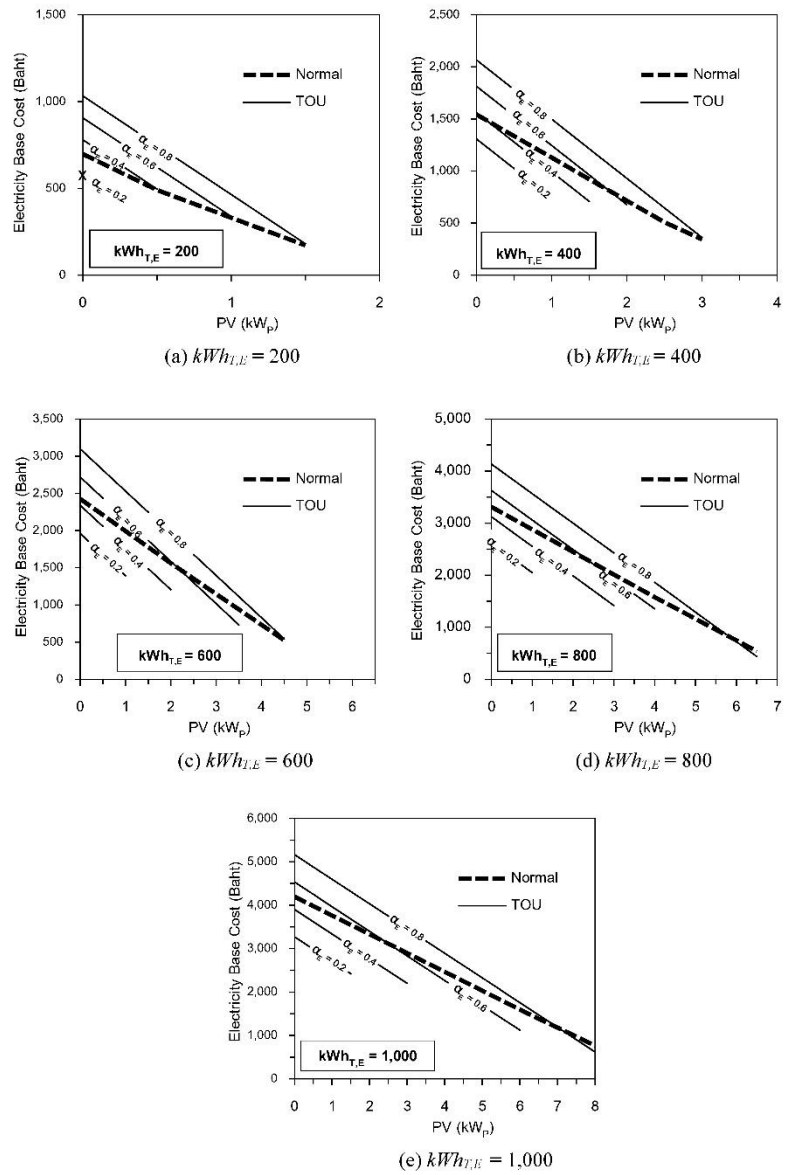


Fig. 6 Electricity base cost of normal and TOU.

Fig. 6 shows the electricity base cost of two tariff depending on the PV installed which are electricity consumption per month and the ratio of electricity consumption in peak time ( $\alpha$ ). There are 5 charts for customer analyzing the electricity base cost by themselves when installing various size of PVs. For the example, the customer who has electricity consumption at 400 kWh per month and the ratio of electricity consumption in  $\alpha_E$  at 0.4. Then, if the residence installed PV at 1 kW<sub>P</sub> with using TOU tariff, it will be charged about 900 baht per month. On the other hand, if the residence installed PV at 1 kW<sub>P</sub> with use normal tariff, it will be charged at 1,100 baht per month as shown in Figure 6 (b).

### 3.4 Discussions

From the results, minimum and maximum PV that obtain the benefit from the TOU tariff are shown in selected chart as Fig. 4 and Fig. 5. The customers can use them to select the PV size for installation. In the past, there were no researcher presenting such information. However, this research consider that the electricity generated from the PV is used only during peak time periods. The battery for supporting the electricity in peak time have not studied yet.

### 4. Conclusions

The simulation of minimum and maximum PV size that benefit from TOU tariff for residence with electricity consumption exceeding 150 units per month and at voltage level lower than 22 kV, the conditions are the PV installed in Phayao province and the generated electricity from PV using only during peak time periods. The results can be concluded;

- 1) Minimum and maximum PV sizing chart can be obtained. The customer can choose the appropriate PV from these charts.
- 2) The minimum PV size depends on the total electricity consumption before PV installation ( $kWh_{T,P}$ ) and the existing ratio of electricity consumption in  $\alpha_E$ . The customer who uses the total electricity consumption less than 500 units per month and the ratio of electricity consumption in  $\alpha_E$  more than 0.8 will not benefit from the TOU tariff.
- 3) The maximum PV size depends on the total electricity consumption per month and the ratio of electricity consumption in peak time periods. If the electricity consumption per month and the ratio of electricity consumption in peak time were increasingly high, the maximum size of the PV installation should be accordingly enlarged as well.

### 5. Reference

- [1] Bayindir, R., Colak I., Fulli, G., & Demirtas, K. (2016). Smart grid technologies and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 66, 499–516.
- [2] Okoye, C. O., & Solyali, O. (2017). Optimal sizing of stand-alone photovoltaic systems in residential buildings. *Energy*, 126, 573–584.
- [3] Sadineni, S. B., Atallah, F. & Boehm, R. F. (2016). Impact of roof integrated PV orientation on the residential electricity peak demand. *Applied Energy*, 92, 204–210.
- [4] Sampaio, P. G. V., & González, M. O. A. (2017). Photovoltaic solar energy: Conceptual framework. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 590–601.
- [5] Provincial Electricity Authority (PEA). (2015). *Electricity tariffs classified by electricity sector*. Retrieved from [https://esd.pea.co.th/pdf/electricity\\_rate\\_58\\_02.pdf](https://esd.pea.co.th/pdf/electricity_rate_58_02.pdf)
- [6] Syed, I. M., & Raahemifar, K. (2016). Energy advancement integrated predictive optimization of photovoltaic assisted battery energy storage system for cost optimization. *Electric Power Systems Research*, 140, 917–924.
- [7] Songpol, P., Nopparat, K., Wichaphon, F., Thananat, L., & Bunyawat, V. (2018). Electricity cost saving simulation of changing to time of use rate (TOU). *Thai Science and Technology Journal*. (Accepted paper)

- [8] Greenzone (Thailand) Co.,Ltd. (2013). *Solar PV system information pack – fit program. greenzone* (Contribute to a greener earth). Retrieved from <https://www.greenzone-thailand.com>
- [9] Department of Alternative Energy Development and Efficiency. Thailand (2018). *Potential of solar radiation database in Thailand 2018*. Retrieved from [http://www.dede.go.th/ewt\\_news.php?nid=47941&filename=index](http://www.dede.go.th/ewt_news.php?nid=47941&filename=index)

## ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	ทรงพล ผัดวงศ์
วัน เดือน ปี เกิด	10 สิงหาคม 2522
สถานที่เกิด	พะเยา
วุฒิการศึกษา	พ.ศ.2557 วศ.ม. (วิศวกรรมการจัดการ) มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก พ.ศ.2560 ศ.บ. (เศรษฐศาสตร์) มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช นนทบุรี พ.ศ.2558 ศ.บ. (เศรษฐศาสตร์ธุรกิจ) มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช นนทบุรี พ.ศ.2556 บธ.บ. (การเงิน) มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช นนทบุรี พ.ศ.2544 วศ.บ. (วิศวกรรมอุตสาหกรรม) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่
ที่อยู่ปัจจุบัน	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา 19 ม.2 ต.แม่กา อ.เมือง จ.พะเยา 56000
ผลงานตีพิมพ์	ทรงพล ผัดวงศ์, บุญวัฒน์ วิจารณ์พล, นพรัตน์ เกตุขาว, วิชญ์พล พัก แก้ว และธนัญฐ์ ลังกาดี. (2562). การจำลองผลประหยัดค่าไฟฟ้า จากการเปลี่ยนมาใช้ค่าไฟฟ้าแบบอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU). วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 27(6), 1139-1150. Songpol Pudwong, Bunyawat Vichanpol and Nopparat Katkhaw. (2019). A novel PV size selection for time of use tariff for residence in Phayao province, Thailand. Journal of Renewable Energy and Smart Grid Technology, 14(1), 32-42.